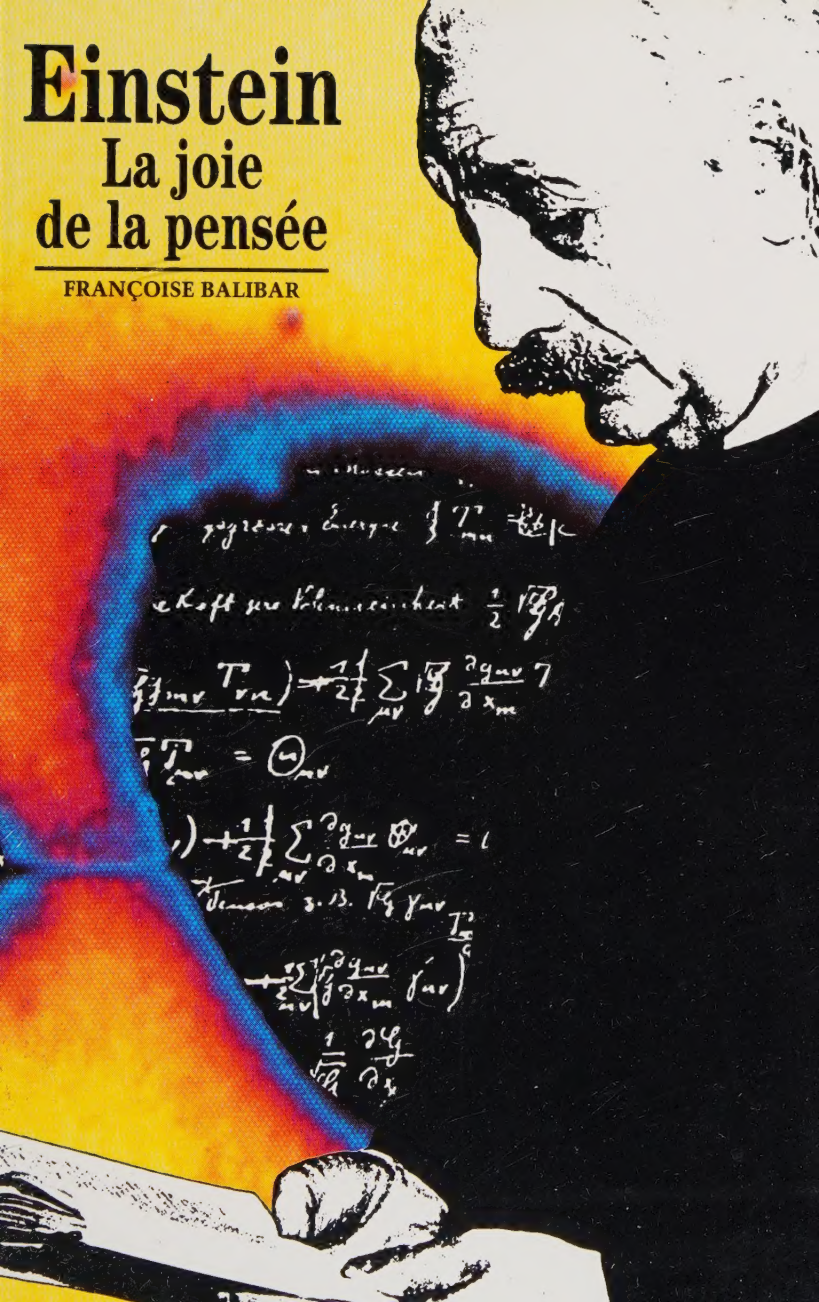
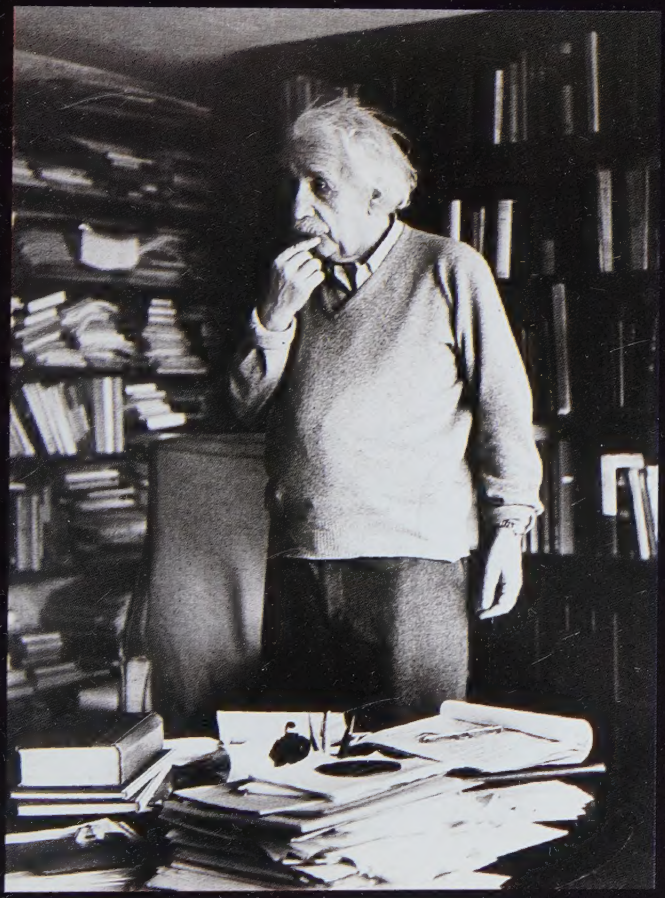
Einstein
La joie de la pensée

FRANÇOISE BALIBAR



«Il est certain que la conviction
– apparentée au sentiment religieux –
que le monde est rationnel, ou au moins intelligible,
est à la base de tout travail scientifique
un peu élaboré. Cette conviction constitue
ma conception de Dieu. C'est celle de Spinoza.»

Albert Einstein, sur la vérité scientifique, 1929



Die hauptsächlichen Gedanken der Relativitätstheorie.

Fragt einen klugen, aber nicht gelehrten Mann, was Raum und Zeit seien, so wird er vielleicht so antworten. Wenn wir alle körperlichen Dinge, alle Sterne, alles Licht aus der Welt fortgenommen denken, dann bleibt so etwas wie ein ungeheures Gefäss ohne Wände übrig, das eben als „Raum" bezeichnet wird. Es spielt gegenüber dem Weltgeschehen dieselbe Rolle wie die Bühne zur Theatervorstellung. In diesem Raum, diesem wandlosen Gefäss gibt es ein ewig gleichmässig ablaufendes Tik-Tak, das allerdings nur Geister, diese aber überall vornehmen können, das ist die Zeit. Diese Auffassung vom Wesen von Raum und Zeit hatten ~~ist~~ die meisten Naturforscher ~~[illegible]~~ bis auf unsere Tage, wenn sie derselben auch keinen so kindlichen Ausdruck gaben, als wir es soeben die Einfachheit wegen gethan haben.

Auf Grund dieser Auffassung ist man geneigt, Aussagen von folgender Art einen unmittelbaren Sinn zuzugestehen. Zwei Ausbrüche des Vesuv finden zu verschiedener Zeit, aber an demselben Orte statt (nämlich am Krater des Vesuv). Das Aufleuchten zweier entfernter „neuer Sterne" findet zu derselben Zeit aber an verschiedenen Orten statt. Seit Langem weiss man, dass die Aussagen der ersten Art (über die Gleichörtlichkeit) keinen Sinn haben. In der That dreht sich ja die Erde um ihre Achse, bewegt sich dabei um die Sonne, und bewegt sich mit dieser noch obendrein nach dem Sternbilde des Herkules hin. Man kann also doch nicht ernsthaft behaupten, dass beide Ausbrüche des Vesuvs an demselben Orte des Weltalls stattgefunden hätten. Man sieht an diesem Beispiele leicht, dass wir derartigen Aussagen über Gleichörtlichkeit überhaupt keinen Sinn beimessen können. Wir können nur sagen: die beiden Ausbrüche des Vesuv finden an demselben

Orte in bezug auf das Feld statt. Die Erde selbst
in dieser Aussage die Rolle eines „Bezugskörpers". Örtliche Aussagen haben wir denn einen Sinn, wenn
sie auf wenn Bezugskörper bezogen werden.

Den Gegensatz schienen aber Aussagen über
Gleichzeitigkeit, überhaupt über Zeiten einen Sinn
zu haben, unabhängig vom jedem Bezugskörper. Man
ist versucht gewesen, einen Menschen für geisteskrank
zu erklären, der behauptet, die Aussage von gleichzeitigen Ereignissen zweier Orte hätte keinen bestimmten Sinn, wenn man nicht einen Bezugskörper angeben, auf den sich die Aussage über Gleichzeitigkeit beziehen wolle. Und doch ist der Wissenschaft durch die überzeugende Gewalt von Erfahrungstatsachen dazu gezwungen worden, dies zu behaupten. Wie kann dies?

In diesem relativen Ergebnis führten die Erfahrungen über die Ausbreitung des Lichtes. Auf Grund vieler Experimente kennen die Physiker zu der Überzeugung, dass sich das Licht des leeren Raumes mit der Geschwindigkeit $c = 300\,000$ km pro Sekunde fortpflanze, und zwar ganz unabhängig davon, mit welcher Geschwindigkeit der Körper bewegt ist, welcher das Licht aussendet. Man denke sich einen Lichtstrahl, den die Sonne in einer bestimmten Richtung aussendet. Derselbe legt nach dem eben ausgesprochenen Gesetz in einer Sekunde den Weg c zurück. Man denke sich nun, dass die Sonne den Lichtstrahl einen Körper nachschleudere, der sich in derselben Richtung mit der Geschwindigkeit $v = 100$ km durch den Weltraum bewegt. Das ist leicht zu denken. Nun können wir uns den abgeschleuderten Körper ebenfalls als Bezugskörper gewählt denken und fragen uns: mit was für einer Geschwindigkeit pflanzt

sich der Lichtstrahl fort für das Urteil eines Beobachters, der nicht auf der Sonne, sondern auf dem abgeschleuderten Körper sitzt? Die Antwort scheint einfach. Wenn [illegible] ausge[illegible]nderte Körper dem Licht mit 1999 [illegible] digk[illegible]heilt, so ~~hat~~ kommt ~~macht~~ der Lichtstrahl [illegible] diesen um 299000 km in der Sekunde [illegible] wäre es, wenn der Lichtstrahl nicht von der [illegible] dern von dem ausgeschleuderten Körper [illegible] würde; denn wir wissen ja dass die Li[illegible] keit nicht vom Bewegungszustand [illegible] abhängig ist.

Dies Ergebnis macht misstrauisch. [illegible] Licht vom abgeschleuderten Körper [illegible] wirklich anders ausbreiten als [illegible] aus. Sollten die Gesetze der Li[illegible] abhängen vom Bewegungszust[illegible] körpers? Dann würde es in der Welt etwa [illegible] geben, denn man könnte so argumentiert [illegible] beliebig bewegte Bezugskörper (hier [illegible] Körper) pflanzt sich das Licht mit [illegible] und zwar von der Richtung abhängig [illegible] keit fort. Dann gäbe es Bezugskörper [illegible] tem Bewegungszustande, inbezug [illegible] das Licht mit der nach allen Ri[illegible] Geschwindigkeit c fortpflanzt. [illegible] würden wir mit gutem Rechte als ab[illegible] nen können (in unserem Überlegungsfalle [illegible] es wirklich solche absolute Ruhe in physikal[illegible] Hängen die Naturgesetze wirklich vom Bewe[illegible] des Beobachters bezw. des Bezugssystems [illegible] obige Überlegung über die Lichtausbreitung [illegible] scheint?

Die Erfahrung spricht dagegen. Wenn wir [illegible] ungsfrei fahrenden Eisenbahnwagen befinden, [illegible]

nicht das Fahren des Wagens. Alle physikalischen Experimente gelingen in einem solchen Wagen genau mit gleichem Erfolge wie in einem gegen die Erde ruhenden Hause. Die physikalischen Experimente, die wir auf der Erde anstellen, zeigen keine Wirkungen der Bewegung an, welche die Erde mit allen auf ihr befindlichen Gegenständen ausführt. Allgemein: Die Naturgesetze sind unabhängig vom Bewegungszustande des Bezugskörpers. Diesen Grundsatz bezeichnet man kurz als „Relativitätsprinzip". Aber man hatte doch aus unseren obigen Überlegung folgern zu müssen geglaubt, dass bezüglich der Gesetze der Lichtfortpflanzung dieses Relativitätsprinzip nicht gelte; wie steht es damit in Wahrheit? Der Amerikaner Michelson bewies vor mehr als 20 Jahren durch sein berühmtes optisches Experiment, dass das Relativitätsprinzip auch für die Lichtausbreitung gültig ist, in einem Falle, in dem die Theorie einen Einfluss der Erdbewegung auf den Verlauf des Experiments hätte erwarten lassen.

Die Überlegung musste also einen Fehler enthalten. Das Gesetz der Lichtausbreitung ist genau das gleiche, ob man die Sonne oder den abgeschleuderten Körper als Bezugskörper wählt. Der Lichtstrahl legt sowohl gegenüber der Sonne als auch gegenüber dem von ihr mit 1000 km abgeschleuderten Körper 300000 km pro Sekunde zurück. Wenn dies unmöglich scheint, so beruht dies nur auf der falschen Annahme von dem absoluten Charakter der Zeit. Die Sekunde von der Sonne aus beurteilt ist nicht eine Sekunde vom abgeschleuderten Körper aus beurteilt.

Es gibt in der Welt kein überall hörbares Tik-Tak, was man als Zeit betrachten könnte. Wenn die Physik von der Zeit Gebrauch machen will, so muss sie dieselbe erst definieren. Die Überlegung zeigt stets, dass man für diese Definition notwendig eines Bezugskörpers bedarf, und dass die Definition nur mit Bezug auf diesen gewählten Bezugskörper Sinn hat. Es zeigt

(5)

wie, dass man inbezug auf einen Bezugskörper die Zeit so definieren könne, dass inbezug auf ihn ~~und diese definierte Zeit~~ das Gesetz von der Lichtgeschwindigkeit gültig ist. Diese Definition der Zeit lässt sich für ~~beliebig bewegte~~ Bezugskörper beliebigen Geschwindigkeitszustandes durchführen. Aber es zeigt sich, dass die Zeiten verschiedener bewegter Bezugskörper nicht miteinander übereinstimmen. Man findet dies ~~näher durch ausgeführt~~ erläutert, begründet in meinem gemeinverständlichen Buch über Relativitätstheorie ( ). Sind zwei an verschiedenen Orten stattfindende Ereignisse von einem Bezugskörper aus beurteilt gleichzeitig, so sind sie es nicht, von einem relativ zu diesem bewegten Bezugskörper aus beurteilt.

Bevor ich in dem Gedankengang fortfahre, muss ich etwas sagen über die Rolle, die der Bezugskörper in der Mechanik Galilei's und Newtons spielt. Überhaupt muss ich bemerken, dass es in der Entwicklung der Wissenschaft nur ein Aufbauen, aber kein Niederreissen gibt. Wenn nicht eine Generation auf das von der früheren Erarbeitete aufbauen kann, gibt es keine Wissenschaft. Es wäre traurig, wenn die Relativitätstheorie die bisherige Mechanik stürzen müsste, so ähnlich, wie ein tyrannischer Herrscher den andern stürzt. Die Relativitätstheorie ist nichts anderes als ein weiterer Schritt in der Jahrhunderte alten Entwicklung unserer Naturwissenschaft, der die bisher gefundenen Zusammenhänge aufrecht erhält und vertieft und neue hinzufügt. Die Relativitätstheorie stürzt so wenig die Newton'schen und Maxwell'schen Theorien um wie der Volksbund diejenigen Staaten vernichtet, die ihm beitreten. Sie müssen sich wohl einige Modifikationen ihrer Gesetze gefallen lassen, erlangen aber dafür erhöhte Sicherheit.

~~Dem Alltagsmenschen~~ Im Alltagsleben dient uns die Erde meist als Bezugskörper, dessen einzelne Punkte wiedererkannt werden können. Die mathematische Physik wählt als Bezugskörper (Koordinatensystem) drei von einem Punkt ausgehende, aufeinander senkrechte geradlinige Stäbe. ~~Je gestalt dieser~~ Die Lage eines ~~beliebigen~~ Punktes zu diesen Stäben wird durch drei Zahlen (Koordinaten) beschrieben, die durch Messung mit starren Stäben (Maßstäben) gewonnen werden. Dabei wird angenommen, dass die Gesetze der Lagerung starrer Körper durch ~~die~~ Euklids Geometrie richtig beschrieben seien. Auf diesen Voraussetzungen beruhen alle Ortsangaben

der bisherigen Physik. Wo auch ein Punkt gelegen sein mag, immer kann man das Stabsystem und die Messkonstruktionen so vervollständigt denken, dass sie an den betrachteten Punkt heranreichen. Man muss dies so ähnlich denken, wie ein Baugerüst, mit dem man bis zu jedem Türmchen und Eckchen eines noch so grossen Baues herankommt. Dabei ist es in der Physik gar nicht mit ig, dass dieses Gerüst wirklich bestehe, wenn man es nur durch indirekte Operationen (mit Lichtstrahlen etc.) konstruiert denken kann.

Die mechanischen Grundgesetze Galileis und Newtons sind nun so beschaffen, dass sie nicht gegenüber beliebig bewegten Bezugskörpern Gültigkeit beanspruchen können, sondern nur gegenüber Bezugskörpern von geeignet gewählten Bewegungszuständen. Man nennt solche in der Mechanik zugelassene Bezugskörper „Inertialsysteme". Es gilt nun in der Mechanik der Satz: Ist der Bezugskörper K ein Inertialsystem, so ist auch jeder gegenüber K gleichförmig, gradlinig und drehungsfrei bewegte Bezugskörper ein Inertialsystem. Einfacher gesagt: gelten die mechanischen Gesetze gegen den Erdboden als Bezugskörper, so gelten sie auch gegen einen gleichförmig fahrenden Eisenbahnwagen als Bezugskörper.

Nun kann ich das vorhin vom Licht Ausgeführte in die einfache Formel fassen: Relativ zu jedem Inertialsystem gilt – bei richtiger Definition der Zeit – der Satz von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit im leeren Raume. Allgemeiner kann man als den Ausdruck vielfacher Erfahrung den Satz betrachten: ~~Alle Inertialsysteme sind~~ Die Naturgesetze sind für alle Inertialsysteme die gleichen. Dieser Satz heisst „spezielles Relativitätsprinzip".

Dass dieser Satz eine neuartige physikalische Forschungsmethode in sich schliesst, kann man folgendermassen einsehen. Angenommen, man habe die Welt bzw. die sie bildenden Einzelereignisse inbezug auf ein Inertialsystem beschrieben, so ist der beobachtete Ablauf von einem anderen Inertialsystem aus betrachtet zwar ein anderer, aber doch vollkommen bestimmt. Der ~~Mathematiker~~ physikalische Physiker hat allgemeine Regeln ausgerechnet, nach welchem man Ort und Zeit

die einzelnen Ereignisse von einem Inertialsystem ins andere umrechnen kann. Man kann so offenbar nicht nur die Einzelereignisse umrechnen, sondern auch die mathematisch formulierten Naturgesetze. Dass spezielle Relativitätsprinzip verlangt nun diesen, dass sie nicht bei jener Umrechnung sich ändern. Haben sie diese Eigenschaft nicht, so sind sie gemäß dem speziellen Relativitätsprinzip zu verwerfen. Die Naturgesetze müssen dem speziellen Relativitätsprinzip entsprechen werden.

Bei diesen Untersuchungen zeigte es sich zuerst, dass Newtons Mechanik einer Modifikation bedarf, wenn es sich um sehr schnell verlaufende Bewegungen handelt, genauer gesagt um Bewegungen, deren Geschwindigkeit gegen die Lichtgeschwindigkeit nicht verschwindend klein ist. Ferner zeigte es sich, dass die Trägheit eines Körpers keine ihm eigentümliche Konstante ist, sondern dass die Trägheit vom Energieinhalt abhängig ist. Masse und Energie sind wesensgleich.

Françoise Balibar est physicienne et enseigne à l'université Paris-VII. Elle dirige l'édition en français des *Œuvres choisies* d'Einstein (6 volumes, en coédition Seuil-CNRS). Elle a publié un manuel de mécanique quantique avec J.-M. Lévy-Leblond, deux petits livres dans la collection «Philosophies» des PUF, *Galilée, Newton lus par Einstein* et *Einstein 1905; La Science du cristal* chez Hachette dans la collection «Question de sciences»; et, en collaboration avec N. Robatel, *La Science en poésie* aux éditions Gallimard.

Tous droits de traduction et d'adaptation réservés pour tous pays
© Gallimard 1993

1er dépôt légal: novembre 1993
Dépôt légal: février 1997
Numéro d'édition: 81164
ISBN: 2-07-053220-2
Imprimé en Italie par Editoriale Libraria

EINSTEIN
LA JOIE DE LA PENSÉE

Françoise Balibar

DÉCOUVERTES GALLIMARD
SCIENCES

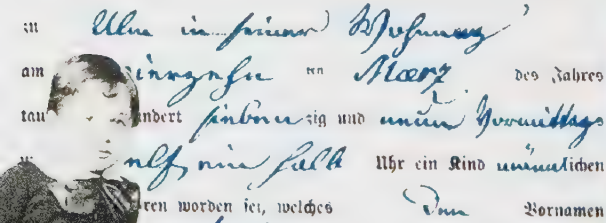
« Pour un homme dans mon genre, il se produit un tournant décisif dans son évolution lorsqu'il cesse graduellement de s'intéresser exclusivement à ce qui n'est que personnel et momentané pour consacrer tous ses efforts à l'appréhension intellectuelle des choses. Ce qui est essentiel dans l'existence d'un homme comme moi, c'est «ce» qu'il pense et «comment» il le pense, et non ce qu'il fait et éprouve.»

CHAPITRE PREMIER
LA PASSION DE COMPRENDRE

"Confort et bonheur ne me sont jamais parus comme des objectifs à atteindre. Possesions, succès de façade et luxe m'ont toujours semblé méprisables, depuis ma première jeunesse."

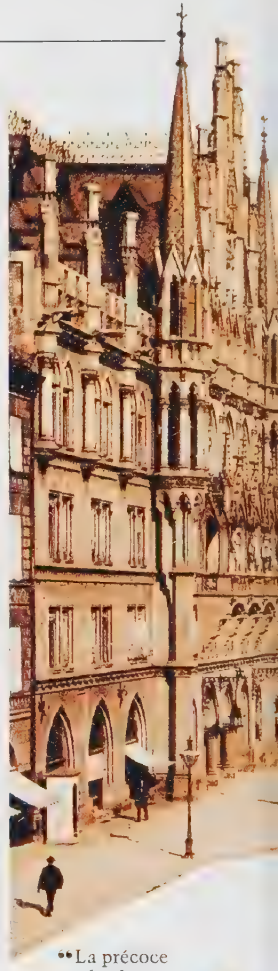
En ce début de l'année 1895, dans le train Munich-Milan, un jeune homme de seize ans songe à son destin. Il vient d'abandonner ses études au *Gymnasium* où l'avaient inscrit ses parents et il fuit vers l'Italie dans l'espoir de les rejoindre. Il n'a certes pas pris sa décision à la légère ; il sait qu'en ne se présentant pas dans quelques mois à l'examen de fin d'études secondaires, qu'il était pratiquement assuré de réussir, il renonce à la possibilité de jamais être inscrit dans une université. Il sait qu'en agissant ainsi il va décevoir et peiner ses parents qui avaient rêvé pour lui une carrière honorable.

Mais il n'en peut plus ; aucun argument raisonnable ne saurait contrebalancer le dégoût que lui inspire la vie de lycéen. Lorsque ses parents étaient auprès de lui, il arrivait encore à supporter les contraintes d'un système éducatif rigide et sévère. Mais à la suite de revers de fortune, ceux-ci ont décidé de quitter Munich, emmenant avec eux leur fille cadette Maja et laissant leur fils Albert aux bons soins d'une famille complaisante jusqu'à la fin de l'année scolaire.


zu Ulm in seiner Wohnung
am [illegible] Mærz des Jahres
tau[illegible]ndert sieben zig und neun Vormittags
[illegible] Uhr ein Kind [illegible]lichen
[illegible]ren worden sei, welches den Vornamen
Albert,

« Vous altérez le respect de la classe à mon égard par votre seule présence » (un de ses professeurs du « Gymnasium » s'adressant à Albert Einstein)

Albert Einstein est né en 1879, dans la décennie où se réalisa l'unification de l'Allemagne sous l'égide de la Prusse. Pendant des siècles, l'Allemagne n'avait été qu'une région géographique, un champ de bataille où s'affrontaient les puissances de l'Europe. En moins d'une génération, celle de Bismarck, à peu



La précoce profondeur de sa pensée trouvait à s'exprimer dans l'étrange façon qu'il avait de répéter chaque phrase en remuant simplement les lèvres.

Maja Einstein, *in* Albert Einstein, *Œuvres choisies*

près celle des parents d'Einstein, elle était devenue un Etat puissant et fort, une nation enrichie par une industrialisation galopante. Mais ces succès ne pouvaient faire oublier les clivages religieux et régionaux qui l'avaient de tout temps divisée et auxquels s'ajoutaient des conflits sociaux de plus en plus aigus liés à la croissance industrielle. Seul le développement du nationalisme et du militarisme pouvait masquer ces faiblesses et faire passer l'unification dans les faits.

"La famille partit pour Munich en 1882. [Douze ans plus tard] la villa fut vendue à un entrepreneur qui fit abattre les vieux arbres. Les enfants assistèrent à la destruction des témoins de leurs souvenirs."
Maja Einstein, *op. cit.*

L'enfance d'Einstein s'est donc déroulée dans cette atmosphère bien spéciale, mélange d'exaltation de la force et de glorification de la culture allemande traditionnelle, philosophique, littéraire et musicale (Kant, Goethe, Schiller, Beethoven) qui a marqué l'Allemagne de Bismarck. Les *Gymnasien*, ces

établissements d'enseignement secondaire où était formée l'élite du pays, l'équivalent de nos lycées à la même époque, ne pouvaient évidemment que refléter cet état d'esprit. On y dispensait un enseignement qui exigeait de la part des élèves à la fois une grande familiarité avec les classiques et de réelles compétences dans les disciplines scientifiques. On y exaltait la culture et l'idéal d'un développement harmonieux de la personnalité, tout en contraignant les élèves à la plus stricte obéissance et en imposant une discipline quasi militaire.

C'est ce mélange d'autoritarisme et de bourrage de crâne encyclopédique que le jeune Einstein ne put supporter. « C'est un vrai miracle, écrira-t-il plus tard, que l'entreprise éducative moderne n'ait pas encore complètement étouffé la curiosité sacrée de la recherche. Car cette petite plante fragile a besoin d'encouragements et surtout de liberté, sinon elle dépérit. C'est une grave erreur de croire que le plaisir d'observer et de chercher puisse être induit par la contrainte ou par le sentiment du devoir.

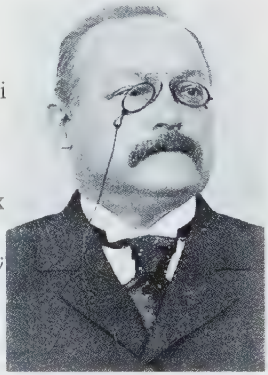
« A l'intérieur d'une brave âme bourgeoise normale, se trouve un écrin que le maître de maison est fier de montrer à tout visiteur et sur lequel est calligraphié le mot « patriotisme ». »

« Je pense que l'on peut même priver une bête de proie en bonne santé de sa voracité en la forçant à manger sous la menace perpétuelle d'un fouet alors qu'elle n'a pas faim. »

Écœuré par cette discipline militaire et encouragé par l'attitude hostile de certains de ses professeurs qui ne supportaient pas son indépendance d'esprit, Einstein a donc décidé de partir en Italie en ce début de l'année 1895. À ces motifs assez puissants pour lui avoir fait prendre sa décision finale sur un coup de tête s'en ajoute un autre, beaucoup plus raisonné, mais qui manifeste tout autant son refus de vivre dans l'Allemagne des années 1890 : le désir d'éviter le service militaire. En quittant

« Je préférais subir toutes sortes de punitions plutôt que d'apprendre à débiter par cœur. »
Au Gymnasium de Munich, ce dernier

le pays avant la fin de ses études secondaires, Einstein espère obtenir à temps la nationalité suisse – ce qui lui permettrait de ne pas passer pour déserteur. « Si quelqu'un peut prendre plaisir à marcher en rang aux sons d'une musique, cela suffit pour que je le méprise ; c'est par erreur qu'il a reçu un cerveau, puisque sa moelle épinière lui suffirait amplement. »



L'émancipation économique et sociale des Juifs allemands à la fin du XIXe siècle

Le voyant arriver en Italie, les parents d'Einstein furent peut-être fiers de tant d'audace, mais en même temps inquiets : leur fils n'était-il pas en train de gâcher précisément ce qui leur avait été refusé dans leur jeunesse : la possibilité d'accéder à des métiers, ceux auxquels conduisait l'université, assurant à la fois sécurité financière et satisfaction intellectuelle ? Hermann Einstein, le père d'Albert, avait montré dans ses jeunes années des dispositions certaines pour les mathématiques mais avait dû renoncer en particulier parce que, Juif sans fortune personnelle, l'accès à l'université lui était pratiquement bouché. Il s'était, sans doute à contre-cœur, établi dans les

« Hermann Einstein quitta l'école en possession d'un certificat qui permettait de ne pas effectuer de service militaire. Cette disposition favorisait les membres des classes «supérieures» dont les fils pouvaient ainsi bénéficier d'une meilleure éducation et n'avaient pas à cohabiter avec les enfants du peuple. Il semble que Hermann Einstein ait eu un goût marqué pour les mathématiques et aurait aimé poursuivre des études dans ce domaine. Les moyens limités de ses parents ne lui permirent pas de satisfaire ce désir. Il décida donc de faire du commerce. Peut-être est-ce cette disposition laissée en friche chez le père qui se développa par la suite chez son fils. »

Maja Einstein, *op. cit.*

affaires mais avait espéré que son fils pourrait profiter du nouveau statut des Juifs en Allemagne.

L'émancipation des Juifs, leur formidable ascension sociale dans l'Allemagne de Bismarck constituent en effet l'un des faits majeurs de l'histoire de l'Europe à cette époque. La sortie du ghetto fut un processus lent mais irréversible, entamé dès la fin du XVIIIe siècle avec la propagation des idées de la Révolution française, poursuivi par la promulgation de décrets locaux instituant une émancipation partielle qui ne devint totale et définitive qu'en 1869. Né dix ans plus tard, Albert Einstein appartenait donc à la première génération de Juifs allemands dont les droits étaient reconnus par la loi dès leur naissance.

Parallèlement, la croissance du capitalisme prenait en Allemagne, du fait de l'unification politique, une allure spectaculaire. Les Juifs allemands, récemment émancipés et qui, contrairement aux anciennes classes privilégiées, n'avaient rien à perdre, participaient activement à cet essor et occupèrent vite d'importantes positions économiques. Cette ascension sociale fut souvent marquée par une

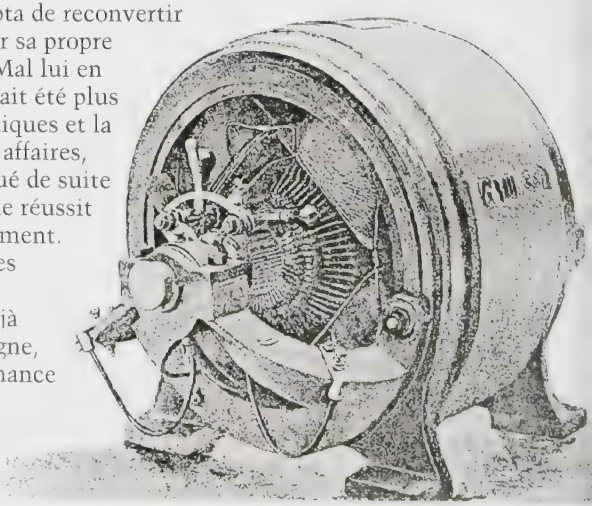
"La dot de sa femme et le développement des affaires auraient dû assurer au jeune couple une vie sans souci, voire prospère. Si Hermann était resté à Ulm, son fils Albert aurait eu une jeunesse beaucoup plus insouciante. [...] Pauline [la mère d'Einstein], issue d'une famille de riches commerçants, était douée d'un sens inné de l'humour; mariée à dix-sept ans, elle eut vite à connaître les réalités de l'existence. Elle aimait la musique et jouait magnifiquement du piano."

Maja Einstein, *op. cit.*

volonté d'assimilation culturelle. Les parents d'Einstein, Juifs non pratiquants, appartenaient à ce courant moderniste. Ils étaient probablement persuadés que l'antisémitisme ne serait bientôt plus qu'un souvenir honteux et les Juifs allemands des Allemands comme les autres. Il n'est donc pas étonnant qu'ils aient formé pour leur fils des souhaits de carrière bourgeoise : jamais les chances de réussite sociale ne parurent plus grandes pour un jeune homme juif qu'en cette fin de XIXe siècle. Hélas ! la génération d'Albert Einstein devait connaître le retour en force de l'antisémitisme, puis le national-socialisme, l'exil dans le meilleur des cas, ou la mort dans un camp de concentration.

Un père homme d'affaires, un oncle inventeur

Dans les années 1880, années du boom économique en Allemagne, tout particulièrement en Bavière où résidait la famille Einstein, l'électrification battait son plein ; la lampe à incandescence, inventée par Edison en 1879, entrait dans tous les foyers et l'industrie devenait grande consommatrice d'électricité. Poussé par son frère Jakob, représentant typique du nouvel esprit d'entreprise, inventeur d'une dynamo qu'il était désireux de commercialiser, Hermann Einstein accepta de reconvertir son activité et de monter sa propre entreprise industrielle. Mal lui en prit : soit que Hermann ait été plus doué pour les mathématiques et la méditation que pour les affaires, soit que Jakob ait manqué de suite dans les idées, l'affaire ne réussit jamais à démarrer réellement. Jakob eut alors une de ses idées géniales : l'électrification étant déjà trop avancée en Allemagne, mieux valait tenter la chance en Italie où le développement de l'électricité ne faisait que commencer.



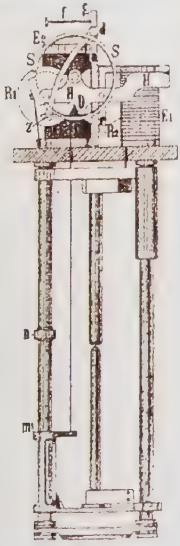


Fig. 1.

Fig. 2.

"Un jeune frère de Hermann Einstein, Jakob, qui par la suite exerça une certaine influence intellectuelle sur Albert, désirait monter une affaire de matériel électrique à Munich [...]. Son imagination variée et fertile le conduisit à vouloir produire sur une grande échelle une dynamo de son invention [ci-contre et à gauche] – ce qui nécessitait une usine plus importante [ci-dessus, l'usine de Pavie] et de nouveaux fonds. Toute la famille, et tout particulièrement son beau-père Julius Koch, participa financièrement."

Maja Einstein, *op. cit.*

Toute la famille émigra donc à Milan, puis à Pavie, laissant Albert à son triste sort.

1896 : Einstein entre au « Polytechnicum » de Zurich

Le destin de Hermann Einstein, dont les entreprises se trouvèrent liées à l'électrification, a joué un rôle essentiel dans la vie de son fils. En effet, ayant vécu

"Au *Polytechnicum*, pour être un bon étudiant, il faut comprendre avec facilité, être prêt à concentrer ses forces sur tout ce que l'on vous présente et aimer l'ordre."

"On prisait plus une pensée saine et indépendante que l'érudition ; aux yeux des étudiants, le professeur n'était pas la figure de l'autorité, mais celle d'un homme possédant une personnalité distincte."

dans un milieu technique et industriel il lui sembla tout naturel, lorsqu'il eut volontairement sacrifié ses chances de s'inscrire à l'université, de chercher à entrer dans une grande école d'ingénieurs. L'école polytechnique de Zurich, *Polytechnicum* en allemand, comparable par son style et son statut social à l'Ecole polytechnique de Paris – à ceci près qu'elle n'était pas militaire et qu'elle préparait aussi à la carrière d'enseignant universitaire –, lui apparut comme l'endroit où il avait les meilleures chances de développer ses aptitudes et son goût pour les mathématiques et de satisfaire le désir de carrière de ses parents. Cette école présentait l'avantage de ne pas exiger le diplôme de fin des études secondaires allemandes : on y était admis sur concours. Aussi décida-t-il de se préparer lui-même à l'examen d'entrée et de se présenter en candidat libre. Ce qu'il fit à l'automne 1895, un an en avance sur l'âge minimal exigé et après avoir obtenu une dispense. Il échoua, mais ne se découragea pas pour autant et s'inscrivit pour l'année universitaire à venir dans une école préparant spécialement au concours d'entrée. L'année suivante, il le réussit et entra donc au *Polytechnicum*.

Il y fit la connaissance d'une jeune fille d'origine serbe, Mileva Marić, étudiante en mathématiques et physique, comme lui. Il faut se reporter quatre-vingt-dix ans en arrière pour apprécier à sa juste valeur le fait qu'une jeune fille puisse être élève d'une école d'ingénieurs aussi célèbre que le *Polytechnicum* de Zurich. Cette école suivait en effet une politique de développement de l'enseignement des filles très en avance sur son temps. C'est, de fait, le premier établissement d'enseignement supérieur en Europe – mais cela vaut probablement pour le monde entier – à avoir ouvert ses portes aux femmes. A titre de comparaison, l'Ecole polytechnique de Paris n'est devenue mixte que dans les années 1970 !

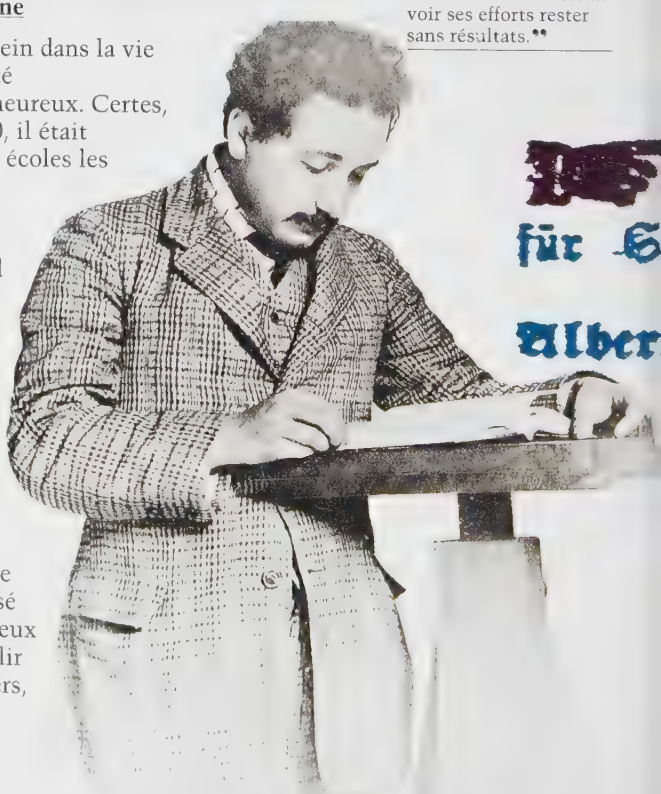
Epris l'un de l'autre, Albert et Mileva envisagèrent bientôt de fonder un foyer. Mais pour la famille Einstein, il n'était pas question qu'Albert épouse une

Mileva Marić faisait partie de ces jeunes filles d'Europe de l'Est venues étudier en Europe occidentale; elles vécurent une vie plus émancipée que leurs contemporaines de la bourgeoisie occidentale, qui n'avaient le droit de faire des études supérieures qu'au sein d'institutions pour jeunes filles. Fille d'un fonctionnaire serbe de l'empire austro-hongrois, elle fut remarquée par ses professeurs qui l'envoyèrent d'abord finir ses études secondaires dans un lycée de garçons, puis en Allemagne a Heidelberg. Elle entra au *Polytechnicum* la même année qu'Einstein.

étrangère, plus âgée que lui, boiteuse, faisant des études aussi peu « féminines », et comble de malchance, non juive. Il y eut des scènes terribles au cours desquelles sa mère accusa Albert de vouloir la mort de ses parents, déjà si durement éprouvés par les malheurs financiers. Einstein céda, la rage au cœur. Mileva s'aperçut au printemps 1901 qu'elle était enceinte. Elle alla accoucher dans sa famille d'une petite fille dont on perd rapidement la trace et qui est probablement morte en bas âge. Revenue à Zurich, elle ne réussit pas à passer les examens de sortie du *Polytechnicum* et se retrouva donc sans diplôme ni métier.

Profession : expert technique stagiaire au Bureau des brevets de Berne

Les débuts d'Einstein dans la vie adulte n'ont pas été particulièrement heureux. Certes, depuis juillet 1900, il était diplômé d'une des écoles les plus prestigieuses d'Europe. Mais grande fut sa déception lorsqu'il s'aperçut que – peut-être pour des raisons liées à ses démêlés avec l'un des professeurs de Zurich – on ne lui proposait aucun poste d'assistant à l'université comme on le lui avait laissé espérer. Pendant deux ans, il dut accomplir divers petits métiers, dont celui de précepteur qui lui parut



"Ce fut pour moi une véritable bénédiction que de travailler à la rédaction définitive des brevets [ci-dessous, Einstein au Bureau des brevets de Berne]. Les activités professionnelles [de ce type] sont telles que n'importe qui de normalement doué peut réaliser ce que l'on attend de lui. Son existence quotidienne n'est pas soumise aux aléas de l'inspiration. Il n'est pas obligé de vivre dans la crainte de voir ses efforts rester sans résultats."

rivatstunden in
lathematik u. Physik
rende und Schüler erteilt
gründlichst
nstein, Inhaber des eidgen.
t. Fachlehrerdiploms,

particulièrement déplaisant. Ce n'est qu'en juin 1902 qu'il réussit, sur la recommandation du père d'un de ses camarades d'études de Zurich, à trouver un emploi stable d'expert auprès du Bureau des brevets de Berne.

On a beaucoup glosé sur le fait qu'un grand savant ait dû faire un travail si peu en rapport avec ses compétences. Mais Einstein lui-même a toujours soutenu que s'il avait trouvé un poste à l'université il aurait été beaucoup moins libre, préoccupé par la préparation des cours et la course aux promotions. Travailler au Bureau des brevets lui convenait tout à fait : il devait expertiser l'invention d'appareils pour

"C'est pendant ces années d'études que je nouai une solide amitié avec un de mes camarades, Marcel Grossmann [ci-contre, à gauche]. Une fois par semaine, nous allions en grande pompe au café Metropol sur le quai Limat [...]. Il me fit un jour une remarque charmante qui le caractérise bien : «J'ai effectivement appris quelque chose d'essentiel au cours de mes études de physique. Auparavant, lorsque je m'asseyais sur une chaise et que je sentais la chaleur provenant de celui qui s'y était assis avant moi, j'étais parcouru par un frisson de dégoût. Cela m'a complètement passé, car la physique m'a appris que la chaleur est quelque chose de tout à fait impersonnel."

Grossmann a joué un rôle essentiel dans la vie d'Einstein, à deux reprises : en l'aidant à trouver du travail au Bureau des brevets en 1902 et, en 1912-1913, en lui apprenant les mathématiques dont il avait besoin pour développer la théorie de la relativité générale.

la plupart électriques, ce pour quoi il avait une réelle compétence, et, le soir venu, il pouvait réfléchir à loisir aux grandes questions de la physique...

On aurait cependant du mal à faire passer pour de « belles années » la période 1899-1905, durant laquelle Einstein eut à faire face simultanément au chômage, à la perte d'un enfant, à l'échec de la vie professionnelle de Mileva, sans compter les innombrables tracasseries de ses parents qui ne cessèrent qu'à la mort de Hermann Einstein en 1902 – ce qui lui permit d'épouser enfin Mileva.

La pensée comme refuge

Cela dit, on ne saurait oublier que durant cette période, Einstein portait en lui et mûrissait les éclatants succès de 1905. On peut donc supposer – il l'a d'ailleurs lui-même confirmé à plusieurs reprises – qu'il trouvait dans l'exercice de la pensée la force de supporter les difficultés de l'existence. Ecrivant à soixante-sept ans son autobiographie, à la demande d'un éditeur américain, Einstein raconte comment, « de nature assez précoce », il prit très jeune conscience « de la vanité des espérances et

Evoquant sa jeunesse, Einstein, s'adressant à l'« immortelle académie Olympia », écrit en 1953 : « Durant votre brève existence, vous avez eu plaisir à cultiver, avec une joie enfantine, tout ce qui était clair et intelligent. Vos membres [Habicht, Solovine et Einstein ci-dessus] vous ont créée pour se moquer de vos sœurs bien assises. Combien cette moquerie visait juste, c'est ce que de longues années d'observation m'ont permis d'apprécier. »

des aspirations qui poussent la plupart des hommes dans les tourbillons d'une vie effrénée ». A l'en croire, il eut dès l'enfance le sentiment que le monde était cruel et hypocrite. Il trouva un temps refuge dans la religion et la piété scrupuleuse, qu'il abandonna bien vite – après avoir lu, dit-il, des ouvrages de vulgarisation scientifique qui le convainquirent que ce qui était écrit dans la Bible ne pouvait être vrai. Commentant cette phase religieuse de sa vie, il ajoute alors : « Il me paraît clair que le pieux paradis de ma jeunesse ainsi perdu constituait une première tentative pour me libérer des chaînes d'un univers exclusivement personnel et d'une existence dominée par des désirs, des espoirs et des sentiments primitifs. »

Toute sa vie, semble-t-il, Einstein n'a cessé de chercher à se protéger à la fois contre l'insupportable cruauté du monde et l'étroitesse d'une vie entièrement gouvernée par des sentiments qu'il qualifiait de primitifs. La recherche de la solution de l'énigme que pose « le vaste monde qui existe indépendamment des hommes » lui a fourni ce rempart. « La contemplation de ce monde était comme la promesse d'une libération », écrit-il dans son autobiographie.

A d'autres moments, il soutient que seul le plaisir de penser permet de trouver. A cette occasion, il emploie une formule, qui n'est pas sans rappeler le titre de l'hymne final de la *Neuvième Symphonie* de Beethoven, mais que l'on peut aussi considérer comme une devise, comme la clef de sa réussite, de ce que l'on appelle son génie : *die Freude am Denken*, la joie de la pensée.

Pour ce que l'on en sait, Einstein (ici avec Mileva et son fils Hans Albert) n'avait guère la fibre paternelle, ou ne s'est pas employé à la développer. Il a laissé Mileva, après leur divorce, s'occuper seule de leur fils cadet, chroniquement malade, se contentant d'assurer leur bien-être matériel grâce à l'argent du prix Nobel. Quant à ses rapports avec son premier fils, Hans Albert, ils sont toujours restés emprunts de froideur.

« Maxwell amena les physiciens à renoncer, lentement et après bien des hésitations, à leur foi en la possibilité de fonder l'ensemble de la physique sur la mécanique de Newton. Depuis lors, coexistent deux types d'éléments conceptuels ; d'une part, des points matériels soumis à des forces à distance, d'autre part, le champ continu. Il s'agit là d'un état intermédiaire, où l'ensemble manque de base unique, état qui, pour insatisfaisant qu'il soit, est loin d'être dépassé. »

CHAPITRE II

LA PHYSIQUE EN CRISE

"La théorie de la relativité restreinte n'est qu'une continuation systématique de la théorie de Maxwell."
Times, 23 novembre 1919

Une maison de famille qui s'écroule

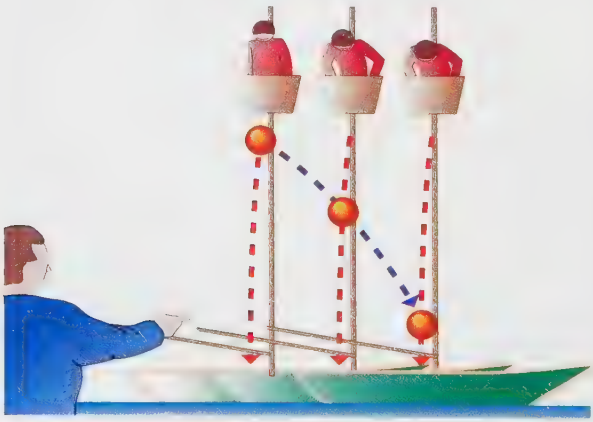
Lorsque Einstein entame sa carrière scientifique dans les toutes premières années de ce siècle, la physique traverse une crise. Certains physiciens vivent cet arrêt de la science comme un drame personnel : Boltzmann, le fondateur de la mécanique statistique, pour ne citer que lui, se suicide en 1906, en partie parce qu'il ne voit pas d'issue à ce malaise qui, à son sens, le rend incapable de penser plus avant.

La physique du XIXe siècle fait coexister deux théories : la mécanique, science du mouvement des objets dits matériels, et l'électromagnétisme, science de la lumière. Malheureusement, ces deux théories se contredisent sur bien des points. La physique d'alors est comme une maison à deux corps de bâtiment – l'image est d'Einstein lui-même – dont l'un aurait été ajouté au premier, entraînant des tensions au sein de la maçonnerie, et donc des fissures, si graves et si larges que bien des architectes conseillent d'abattre au moins un des bâtiments et de rebâtir sur des bases saines.

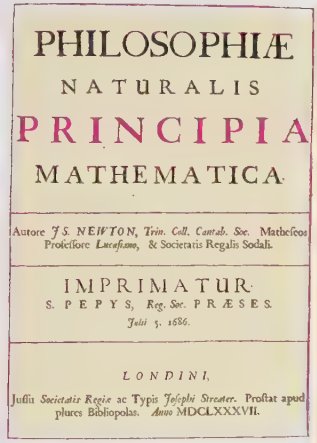
Les trois lois du mouvement énoncées en latin dans l'un des premiers écrits de Newton (à droite) constituent le premier volet de son grand œuvre publié sous le titre *Principes mathémathiques de la philosophie naturelle* (ci-contre).

Le principe de relativité

La mécanique, science fondée par Galilée (1564-1642) et surtout Newton (1642-1727), se propose de décrire le mouvement des corps, qu'il s'agisse d'un grain de poussière dansant dans un nuage de fumée ou d'une



Une pierre lâchée du haut du mât d'un navire en mouvement tombe à l'aplomb du mât, et non en arrière comme on serait tenté de le dire sans réfléchir. En effet, en vertu du principe de relativité, le résultat d'une expérience est le même dans un navire en mouvement et dans un navire à quai ; comme à l'arrêt, la pierre tombe au pied du mât, il en va de même lorsque le bateau bouge. Bien que, pour un observateur sur le quai, la pierre décrive une parabole alors que pour un marin perché sur le mât, et en mouvement rectiligne uniforme par rapport au premier, elle suit une droite, le résultat de l'«expérience» est le même pour les deux observateurs.

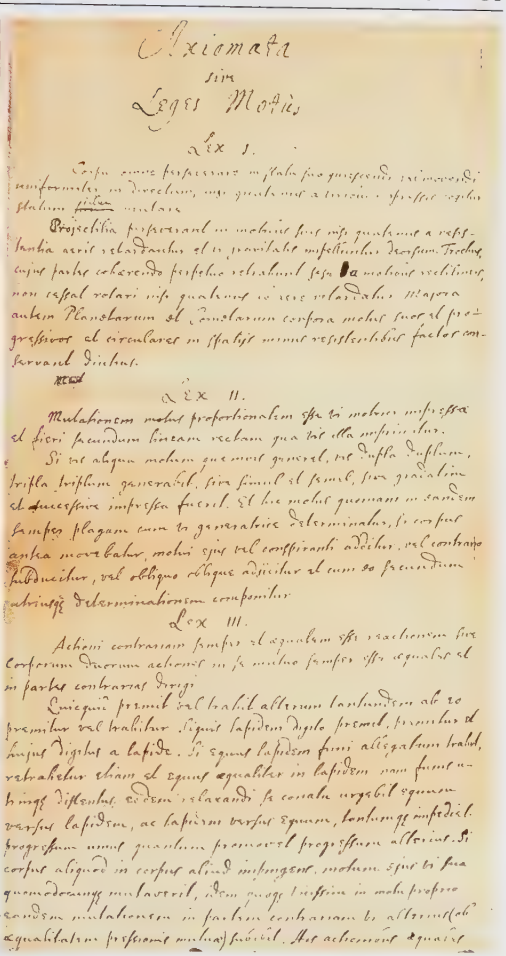


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA

Autore *Is. NEWTON*, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Justu Societatis Regiæ ac Typis *Josephi Streater*. Prostat apud plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.



Axiomata
sive
Leges Motus

Lex I.

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.

Projectilia perseverant in motibus suis nisi quatenus a resistentia aeris retardantur & vi gravitatis impelluntur deorsum. Trochus, cujus partes cohærendo perpetuo retrahunt sese a motibus rectilineis, non cessat rotari nisi quatenus is ab aere retardatur. Majora autem Planetarum & Cometarum corpora motus suos & progressivos & circulares in spatiis minus resistentibus factos conservant diutius.

Lex II.

Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressæ & fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Si vis aliqua motum quemvis generet, vis dupla duplum, tripla triplum generabit, sive simul & semel, sive gradatim & successive impressa fuerit. Et hic motus quoniam in eandem semper plagam cum vi generatrice determinatur, si corpus antea moverbatur, motui ejus vel conspiranti additur, vel contrario subducitur, vel obliquo obliquæ adjicitur & cum eo secundum utriusque determinationem componitur.

Lex III.

Actioni contrariam semper & æqualem esse reactionem sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æquales & in partes contrarias dirigi.

Quicquid premit vel trahit alterum tantundem ab eo premitur vel trahitur. Siquis lapidem digito premit, premitur & hujus digitus a lapide. Si equus lapidem funi alligatum trahit, retrahetur etiam & æquus æqualiter in lapidem quasi nihil trahat. Eodem enim relaxandi se conatu urgebit æqualiter versus lapidem, ac lapidem versus equum, tantumque impedit progressum unius quantum promovet progressum alterius. Si corpus aliquod in corpus aliud impingens, motum ejus vi sua quomodocunque mutaverit, idem sponte sua vicissim in motu proprio eundem mutationem in partem contrariam vi alterius (ob æqualitatem pressionis mutuæ) subibit. Hæ actiones æquales

planète en révolution autour du Soleil. Les objets dont elle traite sont donc des objets matériels, c'est-à-dire renfermant une certaine quantité de matière. Elle repose sur le principe de relativité, énoncé pour la première fois, non par Einstein comme on le croit souvent, mais par Galilée, et auquel toutes ses lois, et en particulier les trois lois de la dynamique de Newton, sont soumises.

En vertu de ce principe, dans un avion volant à sa vitesse de croisière – Galilée ne parlait évidemment pas d'avion, mais de navire –, les choses se déroulent de la même façon qu'au sol, à l'arrêt ; si bien que l'on ne peut pas savoir, en n'observant que ce qui se passe dans la cabine, si l'on est dans un avion en vol ou à l'arrêt au sol – du moins tant que l'appareil se déplace à vitesse constante et en ligne droite. Comme le disait fort bien Galilée, le mouvement de l'avion est « comme nul » ; il ne compte pas, puisqu'on ne le « sent » pas.

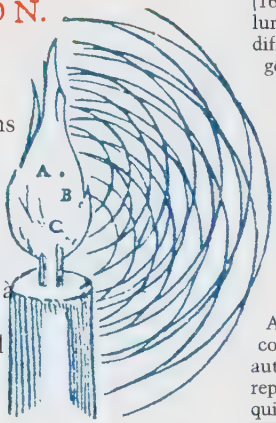
L'autre volet de l'œuvre de Newton est la théorie de la gravitation qui, combinée aux trois lois, donne, dans les *Principes*, le mouvement des planètes.

TRAITE DE LA LVMIERE.

Où sont expliquées

Les cauſes de ce qui luy arrive

Dans la REFLEXION, & dans la REFRACTION.

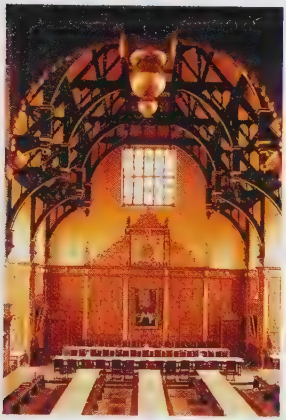


« Quand nous voyons un objet lumineux, ce ne saurait être par le transport d'une matière qui, depuis cet objet s'en vient jusqu'à nous ainsi qu'une balle ou une flèche traverse l'air», affirme Christiaan Huygens dans son *Traité de la lumière* (1690). En effet, des lumières provenant de différents endroits se gêneraient les unes les autres. La lumière «s'étend» donc comme une onde et chaque point d'un corps lumineux engendre des ondes. «Ainsi dans la flamme d'une chandelle, étant distingués les points A, B, C, les cercles concentriques décrits autour de ces points représentent les ondes qui en proviennent.»

L'absence de sensations ne prouve donc pas qu'on soit immobile : on peut très bien, sans s'en apercevoir, être animé d'un mouvement à vitesse constante et en ligne droite. Dans un avion, on est immobile par rapport aux parois de l'appareil mais en mouvement par rapport à la Terre, elle-même en mouvement par rapport au Soleil qui lui-même a un certain mouvement au sein de notre galaxie, laquelle n'est pas non plus immobile, etc. Bref, il n'existe strictement rien qui soit absolument immobile.

Première difficulté : l'éther de Maxwell

La théorie de la lumière (l'électromagnétisme),



élaborée dans les années 1850 par le physicien britannique Maxwell crée une fissure dans le bel édifice construit par Newton et ses successeurs. Cette théorie décrit – en termes mathématiques – la lumière comme une onde, c'est-à-dire comme quelque chose qui se propage, de proche en proche, à la manière des rides à la surface d'une mare dans laquelle on a lancé un caillou – à ceci près qu'au lieu de se propager dans l'eau, la lumière se propage dans l'« éther ».

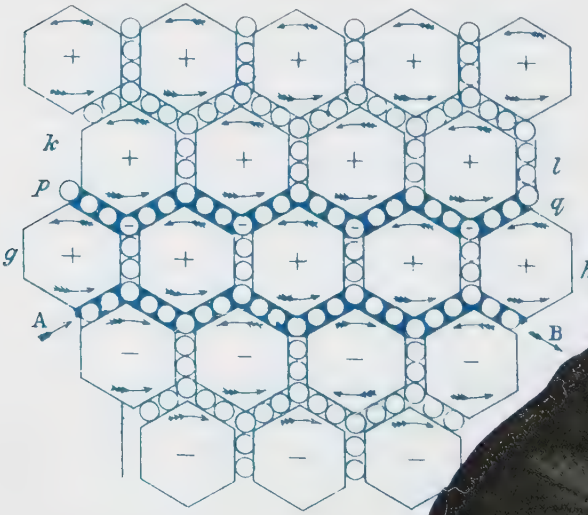
Il faut s'imaginer, dit Maxwell, que le monde est rempli, jusque dans ses moindres recoins, d'un milieu, l'éther, dont l'existence est nécessaire à la propagation de la lumière. De quoi est fait cet éther ? A quoi ressemble-t-il ? A l'eau, à l'air, au verre ? Est-il pesant, liquide, solide, élastique ? La théorie de Maxwell donne quelques réponses vagues – l'éther est « sans doute » incolore, « probablement » sans poids...

Trinity College (à gauche) est un des lieux de mémoire de la physique. Newton y étudia de 1660 à 1665, puis y enseigna une vingtaine d'années. Un pommier indique encore aujourd'hui l'emplacement du petit bâtiment dans lequel il réalisait des expériences d'alchimie et auquel il finit par mettre le feu dans des circonstances bizarres. Cent cinquante ans plus tard, en 1850, James Clerk Maxwell, étudiant à Cambridge, fut lui aussi rattaché à Trinity College.

Maxwell chercha toute sa vie à expliquer la propagation de la lumière de façon mécanique, notamment à l'aide de maquettes constituées de roues dentées et d'engrenages. La maquette ci-dessous a été construite par Wheatstone, l'un de ses disciples.

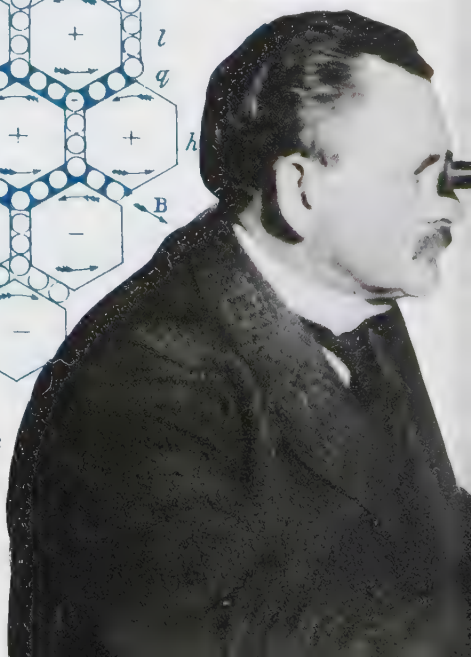
semblable à la fameuse «jelly» anglaise. Au cours du temps, on en était même venu à dépouiller l'éther de toutes ses propriétés physiques et à ne lui conserver qu'une seule caractéristique : une immobilité absolue, en flagrante contradiction avec le principe de relativité.

Or, en physique un principe ne souffre pas d'exception ; sinon il faut l'abandonner. Au début du siècle, les physiciens se débattent donc dans le dilemme suivant. Ou ils prennent au sérieux la théorie de Maxwell – comment ne pas le faire ? la théorie est en accord précis avec les résultats expérimentaux –, et alors il leur faut accepter que la lumière se propage dans un éther absolument immobile et donc abandonner le principe de relativité, abattre ce corps de bâtiment qu'est



la mécanique. Ou ils tiennent à conserver le sacro-saint principe de relativité et l'éther ne peut exister – ce qui revient à abattre l'autre corps de bâtiment, l'électromagnétisme ; mais alors comment expliquer la propagation de la lumière ?

Si l'éther existe et est absolument immobile, la vitesse de la lumière à la surface de la Terre ne devrait pas être la même selon que la lumière se propage dans la direction du mouvement de la Terre ou en sens inverse. Michelson (ci-dessous) avait imaginé une expérience d'optique destinée à mettre en évidence cette différence. La réalisation de l'expérience donna un résultat négatif : la vitesse de la lumière était la même dans les deux directions ce qui invalidait l'hypothèse d'un éther absolument immobile.

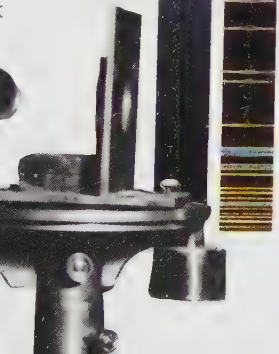


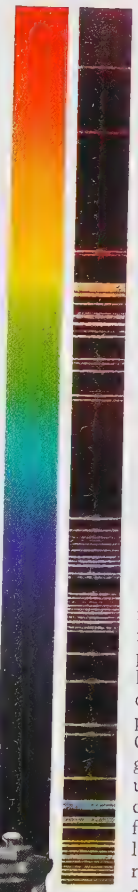
Preface

ks for encouragement and constructive criticism

osition

plus
galement les
ilier deux
ontinu ?
– en 1900 de
aient déjà
est faite
natière, qui
s, forment
s des grains
t être séparés
és un à un – en
ont en très
mes, des
discontinue.
ces atomes,
ique.
t deux
es ; on ne peut
du continu ni
nu : tout

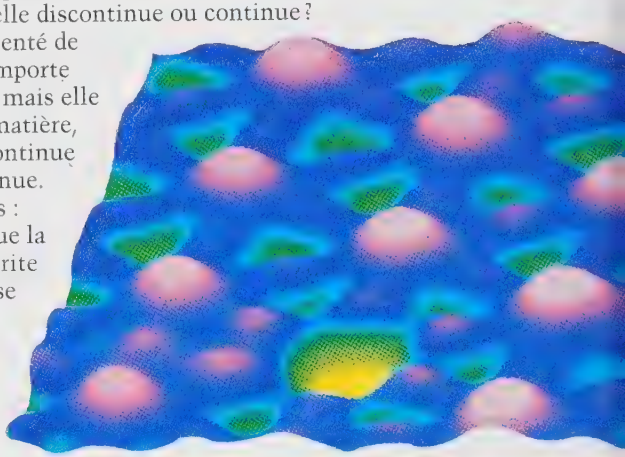




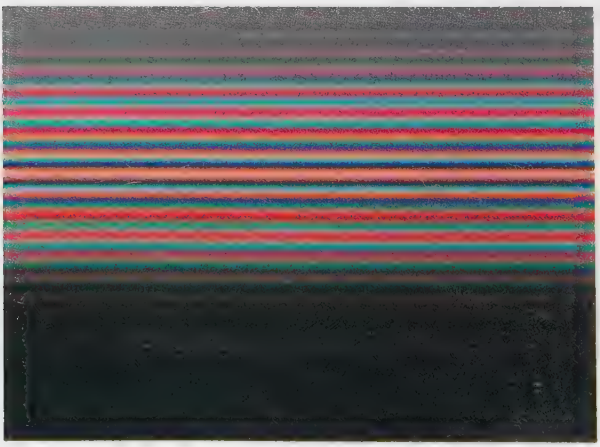
La figure de Maxwell domine la physique de la deuxième moitié du XIXe siècle, à la fois par ses découvertes et par la manière dont il les a faites. Très tôt, il se fit le champion d'une méthode de recherche promise à un grand avenir, celle des «analogies véritables». Selon lui, dans l'exploration d'un nouveau champ de phénomènes, pour la description duquel les concepts et même les mots manquent, on ne peut raisonner autrement que par analogie. C'est en procédant ainsi qu'il démontra que la propagation de la lumière est analogue à celle d'un ébranlement dans un milieu matériel, l'éther, milieu dont il ne prétendait pas donner la composition mais se contentait de décrire plusieurs modèles. Celui représenté à gauche fait intervenir une compartimentation de l'éther en cellules frottant les unes sur les autres lors de leurs rotations – ce qui assure la transmission d'un ébranlement d'un point à un autre de l'éther.

continu avec du discontinu, à la manière du sable qui, bien que discontinu, paraît continu vu de haut.

Et la lumière, est-elle discontinue ou continue ? Continue, serait-on tenté de répondre : elle ne comporte pas de « trous ». Oui, mais elle pourrait, comme la matière, être apparemment continue et en réalité discontinue. Or, ce n'est pas le cas : Maxwell a montré que la lumière doit être décrite comme quelque chose de vraiment continu et non comme un faux continu.



Ainsi la matière est discontinue et la lumière vraiment continue. Qu'elles doivent être qualifiées par des contraires ne semble pas choquant à première vue. Après tout, l'une est pesante, l'autre pas ; l'une est en général opaque, l'autre invisible, etc. Certes, mais le physicien ne peut ignorer que la lumière et la matière ne sont pas sans rapport l'une avec l'autre. La lumière naît de la matière, lorsqu'on fait chauffer une substance par exemple – que ce soit du pétrole,

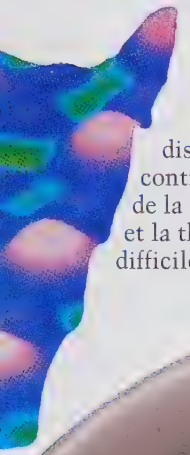


L'existence de « franges » (en bas à gauche) signe la nature ondulatoire d'un phénomène. C'est parce que les ondes sont continues qu'elles donnent, en se superposant, des alternances de renforcement (franges brillantes) et d'annulation (franges noires) – contrairement aux particules qui n'interfèrent pas et s'« empêchent » les unes les autres, comme disait Huygens.

L'ampoule électrique et son énigme : comment la matière, discontinue, peut-elle donner de la lumière, continue ?

comme dans les anciennes lampes à pétrole, ou le fil de cuivre du filament d'une lampe à incandescence – ou encore lorsqu'on « excite » un gaz à l'aide d'une décharge électrique, comme dans un éclair de flash ou une lampe au néon.

Comment imaginer alors que du discontinu puisse se transformer en vrai continu ? Ici encore, la théorie atomique de la matière fondée sur la mécanique et la théorie de la lumière semblent difficilement conciliables.



Depuis les années 1980, on peut, sinon voir, du moins photographier les atomes à la surface d'un cristal à l'aide d'un microscope « à effet de champ » (à gauche). Il est dommage que certains anti-atomistes pour qui les atomes n'existaient pas « parce qu'on ne les voyait pas » n'aient pas eu ces clichés en main.

« Je vous promets quatre travaux, dont je pourrai vous envoyer prochainement le premier. Il y est question du rayonnement et de la lumière d'une façon tout à fait révolutionnaire. Le quatrième est encore à l'état d'ébauche ; il s'agit d'une électrodynamique des corps en mouvement qui repose sur des modifications de la théorie de l'espace et du temps. »

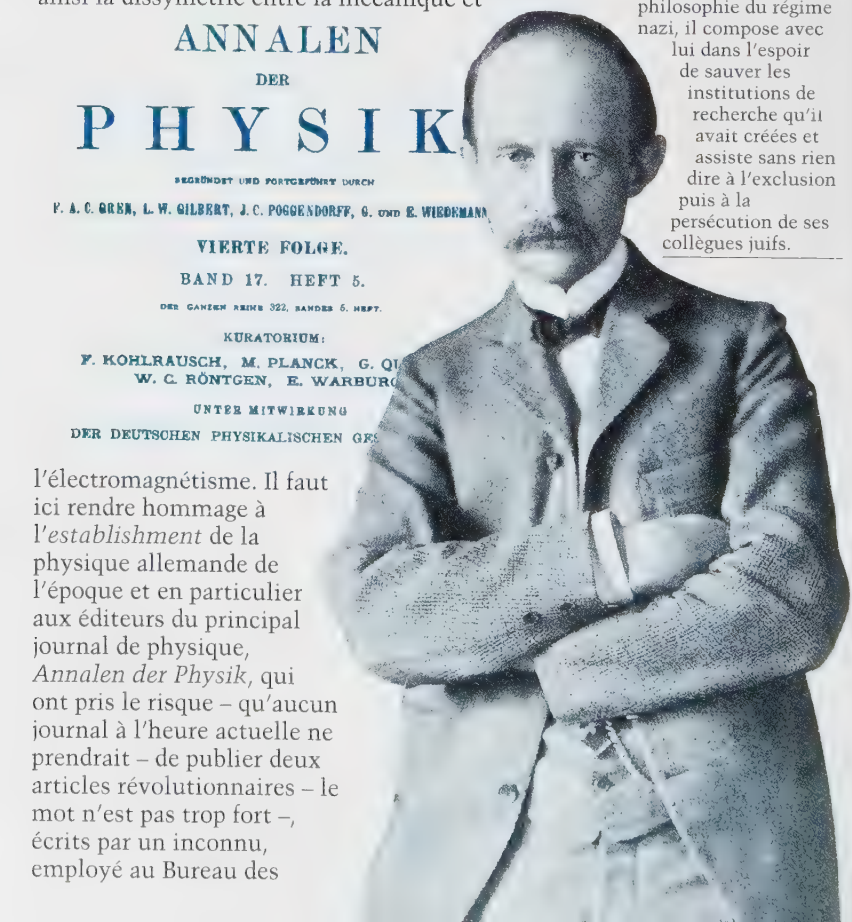
Lettre à K. Habicht, printemps 1905

CHAPITRE III
1905, L'ANNÉE MIRACULEUSE

Parmi les nombreux résultats obtenus par Einstein en 1905, la postérité a essentiellement retenu la fameuse formule de l'équivalence entre masse et énergie.

Un problème bien posé est un problème à moitié résolu

En l'espace de six mois, Einstein va dénouer l'écheveau de contradictions dans lequel se débat la physique. En mars 1905, il démontre que l'opposition entre continu et discontinu n'a pas lieu d'être : la lumière est elle aussi constituée de grains, comme la matière. C'est l'hypothèse des « quanta » de lumière. En juin, il bâtit une théorie de la lumière sans éther, la théorie de la « relativité restreinte », abolissant ainsi la dissymétrie entre la mécanique et l'électromagnétisme. Il faut ici rendre hommage à l'*establishment* de la physique allemande de l'époque et en particulier aux éditeurs du principal journal de physique, *Annalen der Physik*, qui ont pris le risque – qu'aucun journal à l'heure actuelle ne prendrait – de publier deux articles révolutionnaires – le mot n'est pas trop fort –, écrits par un inconnu, employé au Bureau des


ANNALEN
DER
PHYSIK
BEGRÜNDET UND FORTGEFÜHRT DURCH
P. A. C. GREN, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF, G. UND E. WIEDEMANN
VIERTE FOLGE.
BAND 17. HEFT 5.
DER GANZEN REIHE 322. BANDES 5. HEFT.
KURATORIUM:
F. KOHLRAUSCH, M. PLANCK, G. QU
W. C. RÖNTGEN, E. WARBURG
UNTER MITWIRKUNG
DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GES

Le destin de Max Planck (1858-1947), figure essentielle de la science allemande, est tragique, à l'image de celui de son pays. «Conscience malheureuse», il signe en 1914 un manifeste guerrier, ce dont il se repent amèrement durant la guerre, qui lui enlève deux de ses enfants ; hostile à la philosophie du régime nazi, il compose avec lui dans l'espoir de sauver les institutions de recherche qu'il avait créées et assiste sans rien dire à l'exclusion puis à la persécution de ses collègues juifs.

La période la plus fertile de la vie d'Einstein a coïncidé avec son emploi au Bureau des brevets de Berne (ci-contre).

Sur la tombe de Ludwig Boltzmann (1844-1906), à Vienne est inscrite la formule qui porte son nom :

$$S = k \log \mathcal{W}$$

S est ce que l'on appelle l'entropie, $\mathcal{W}$ la probabilité correspondante. C'est en faisant un usage inédit de cette formule qu'Einstein a, en 1905, découvert la nature corpusculaire de la lumière.

brevets de Berne. Peut-être est-ce une caractéristique de l'université allemande, si rigide et hiérarchisée par ailleurs, que d'avoir toujours laissé s'exprimer les marginaux.

Admirons également l'excellente santé mentale du jeune Einstein. Imagine-t-on l'effet déstabilisant que peut produire sur un individu de vingt-six ans le fait de résoudre, tout seul et avec une étonnante aisance, les problèmes qui désespéraient de plus expérimentés que lui ?

Mars 1905 : la découverte des quanta de lumière

En préambule a son premier article, Einstein énonce son diagnostic : la physique restera en panne tant qu'elle n'aura pas dépassé l'opposition entre continu et discontinu sur laquelle elle achoppe et qui l'empêche de véritablement expliquer comment la lumière est produite par la matière. Il lui semble donc important de concentrer ses efforts de réflexion sur la production de lumière, et plus particulièrement l'émission de lumière par un corps que l'on chauffe.

Einstein est un atomiste convaincu ; il appartient a une génération qui, même si elle n'a encore jamais vu

les atomes « en vrai », est persuadée de leur existence. Plus encore, il est un ardent défenseur de la mécanique statistique. Cette discipline est une mécanique, en ce sens qu'elle traite le mouvement des atomes selon les lois de la mécanique de Newton ; elle est statistique car elle n'étudie pas leurs mouvements individuels, mais l'effet d'ensemble, ou leur moyenne, des mouvements atomiques – ce que justifie le nombre énorme d'atomes contenus dans le moindre gramme de matière. Un de ses titres de gloire est d'avoir réussi à expliquer le comportement de la matière quand on la chauffe et d'avoir montré que la température correspond à une forme d'énergie.

Les couleurs des bulles de savon (ci-dessus une lame mince de savon) ne peuvent s'expliquer que dans le cadre d'une théorie ondulatoire – continue – de la lumière : ces couleurs résultent de la superposition en un même point de plusieurs lumières ayant suivi des trajets différents. Or une théorie corpusculaire interdit une telle superposition puisque, par définition, chaque corpuscule occupe «entièrement» le point où il se trouve.

La théorie de Maxwell et la mécanique statistique font toutes deux jouer un rôle fondamental à l'énergie. D'où l'idée d'Einstein : étudier la manière dont l'énergie de la matière chauffée se transforme en énergie lumineuse en utilisant les méthodes statistiques.

Il s'aperçoit alors que cette transformation n'est compréhensible que si l'on suppose que l'énergie de la lumière est constituée de « grains », d'« atomes d'énergie », auxquels il donne le nom de « quanta lumineux » – appelés « photons » aujourd'hui. L'énergie de la lumière est discontinue, tout comme celle de la matière.

La lumière n'est ni continue ni discontinue

Fallait-il en conclure que la lumière, comme la matière, n'est qu'un faux continu dont la structure discontinue apparaît dès qu'on y regarde de près ? Einstein pensait plutôt, à juste titre, que la lumière avait à la fois un caractère discontinu – comme le suggère l'hypothèse des quanta de lumière – et un caractère vraiment continu – comme l'exige la

théorie de Maxwell, si admirablement vérifiée par toutes les expériences d'optique. Restait à expliquer pourquoi la lumière manifeste ses propriétés continues dans certaines circonstances – la formation d'un arc-en-ciel par exemple – et son caractère discontinu dans d'autres – la production de lumière dans une lampe par exemple.

Le problème n'était donc pas totalement résolu et Einstein aurait été bien en peine, en 1905, de répondre à la question : « de quoi la lumière est-elle faite ? » Une chose cependant était maintenant définitivement acquise : elle n'était pas qu'une onde continue ; elle avait aussi des propriétés atomiques, discontinues. Einstein avait découvert un objet, la lumière, qui échappait à la dichotomie continu/discontinu, rendant du même coup compatibles les théories de la lumière et de la matière.

Broadway et ses « néons » illustrent le caractère discontinu de la lumière. Chaque tube contient des atomes d'une seule espèce : atomes de néon, de rubidium, etc. Ceux-ci, lorsqu'ils sont excités électriquement, émettent des grains de lumière porteurs d'une énergie bien définie, conformément à l'hypothèse des quanta.

Tout au bonheur d'avoir trouvé une solution, même partielle et encore programmatique, aux problèmes qui hantaient les nuits des physiciens de la génération précédente, Einstein ne pouvait pas prévoir que cette question de la véritable nature de la lumière, de la « réalité » des quanta lumineux, allait le tourmenter toute sa vie.

Juin 1905 : la théorie de la relativité

« L'introduction d'un éther lumineux se révélera superflue », annonce triomphalement Einstein dès le premier

« J'aurais réellement pu acquérir une solide formation mathématique. Seulement je travaillais la plupart du temps au laboratoire de physique, fasciné par le contact direct avec l'expérience. » Einstein n'est pas le pur théoricien que l'on croit. Il a consacré beaucoup de temps à la fabrication d'une machine destinée à mesurer de petites quantités d'électricité dans l'atmosphère (ci dessous, le laboratoire d'Einstein à Zurich).

paragraphe de son article de juin. Il résout ainsi la seconde contradiction dont souffrait la théorie physique.

Mais comment supprimer l'éther, qui, si l'on en croit Maxwell, est le milieu dont les vibrations constituent la lumière elle-même ? Einstein déclare que la lumière n'est tout simplement pas produite par la mise en ébranlement d'un milieu, l'éther ou n'importe quel autre.

Comment définir alors la lumière ? Einstein décide de poser en principe l'une des conclusions de la théorie de Maxwell, à savoir que la lumière, quel que soit le mouvement de celui qui l'observe, doit toujours aller à la vitesse *c*, égale à 300 000 km/s environ. Si l'on conçoit la lumière comme le mouvement d'une onde dans l'éther immobile, cette conclusion est en contradiction avec le principe de la relativité car la vitesse de cette onde devrait dépendre de la vitesse (par rapport à l'éther) de celui qui l'observe. Le génie d'Einstein est d'avoir aboli cette contradiction en supprimant précisément l'idée selon laquelle la lumière est le mouvement d'une onde dans l'éther. La lumière est uniquement caractérisée, énonce Einstein, par le fait qu'elle va toujours à la vitesse *c*, pour tous les observateurs.

Imaginons que l'éther n'existe pas ; abandonnons l'idée que la lumière est un ébranlement de ce milieu qui se propage de proche en proche. Est-il possible de reconstruire la physique sur cette base ? Faut-il conserver le principe de relativité ? Oui, répond

« Je savais que le principe de la constance de la vitesse de la lumière était quelque chose d'indépendant du postulat de relativité et j'ai balancé pour savoir lequel était le plus vraisemblable. » Pourquoi l'invariance de la vitesse de la lumière serait-elle contradictoire avec le principe de relativité ? Telle est la question que se posait Einstein en 1904. « Heureusement un de mes amis m'aida à m'en sortir [...]. Je lui rendis visite par une belle journée pour lui parler de mon problème [...]. Nous commençâmes à discuter [ses] divers aspects. Et tout d'un coup, je compris [...]. L'analyse du concept de temps, telle était la solution. [...] Cinq semaines après, l'élaboration de la relativité restreinte était achevée. »

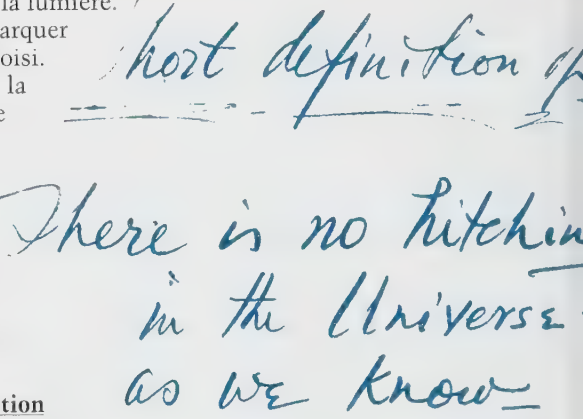
Einstein. Rien ne s'oppose plus en effet à ce principe, puisque l'éther, supposé absolument immobile, a disparu. D'où sa conclusion : la lumière, elle aussi, obéit au principe de relativité. Ce principe fondamental, dont la validité était jusqu'alors restreinte à la mécanique, gouverne à la fois la matière et la lumière et ne souffre pas d'exception.

Aussi entreprend-il de bâtir une théorie reposant sur deux principes : le « principe de la lumière » – la lumière va « toujours » (quel que soit le mouvement de l'observateur) à la vitesse c – et le principe de relativité – rien ne peut être absolument immobile.

La théorie ainsi produite porte le nom de « théorie de la relativité », précisément parce qu'elle unifie sous l'égide du principe du même nom la théorie de la matière et celle de la lumière.

On a souvent fait remarquer que ce nom était mal choisi. A vrai dire, la théorie de la relativité est une théorie des invariants ; elle recherche ce qui dans la nature ne varie pas quel que soit le point de vue de l'observateur. La constante c, vitesse de la lumière, est un bel exemple d'invariant.

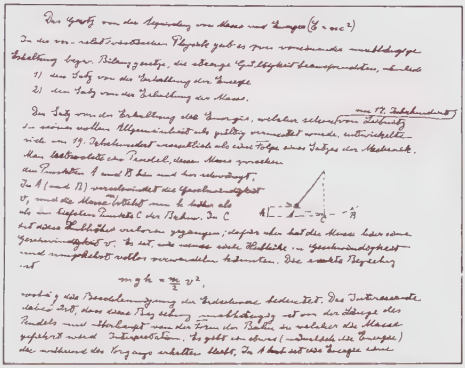
Écrit d'une main inconnue : « Petite définition de la relativité : il n'y a rien à quoi s'accrocher dans l'univers – pour autant que nous sachions. » Einstein a ajouté de sa main : « lu et approuvé ». Pourtant, on pourrait discuter l'expression « pour autant que nous sachions ». Car il ne s'agit pas d'une connaissance susceptible d'être remise en cause mais bien d'un principe à partir duquel procède la théorie physique : il n'existe aucun point de vue privilégié sur le monde.



La simultanéité en question

L'unification des théories de la lumière et de la matière induit une modification inattendue de nos idées intuitives sur l'espace et le temps. Einstein commence par démontrer ce fait paradoxal : deux événements qui, pour le passager d'un train, sont simultanés ne le sont pas pour un individu qui regarde passer ce train : ce dernier voit l'un des événements se produire avant l'autre.

Imaginons la situation suivante : deux personnes assises aux deux extrémités d'un wagon se déplaçant de la gauche vers la droite prennent une photo au



flash. Un passager assis au centre du wagon (nommé A) reçoit les deux éclairs de flash en même temps. Pour lui, les deux photographes aux deux bouts du wagon ont appuyé sur leur déclencheur au même instant. Mais pour un individu (nommé B) qui regarde passer le train, l'observateur A assis au centre du wagon se déplace vers la droite – avec le train – et s'avance donc à la rencontre de la lumière émise par le flash du photographe situé à l'avant du wagon, alors qu'il « fuit » devant la lumière émise par le photographe de l'arrière du wagon. Mais en vertu du principe posé par Einstein, la lumière arrive toujours à la vitesse c dans l'œil de l'observateur A, qu'elle vienne de la gauche ou de la droite, qu'il s'éloigne d'elle ou se dirige vers elle. Or, la distance que doit parcourir la lumière émise à droite pour atteindre l'observateur A (et qui s'avance vers elle) est moins grande que celle que doit parcourir la lumière émise à gauche pour atteindre ce même observateur A qui la « fuit » ; comme la lumière va toujours à la vitesse c, le temps mis par la lumière de droite pour arriver dans l'œil de l'observateur A est plus court que celui mis par la lumière de gauche pour arriver jusqu'à lui.

Ainsi donc, pour B, les deux flashes n'ont pas été déclenchés au même instant. Qui a raison ? A ou B ? Les deux, répond Einstein. Contrairement à ce que suggère l'intuition ordinaire, deux événements simultanés pour A ne le sont pas pour B qui ne partage pas le mouvement de A. C'est là une situation fort embarrassante car, bien évidemment, dès lors que les deux observateurs ne sont pas d'accord sur la simultanéité de deux événements, ils ne peuvent être d'accord sur rien en ce qui concerne le temps.

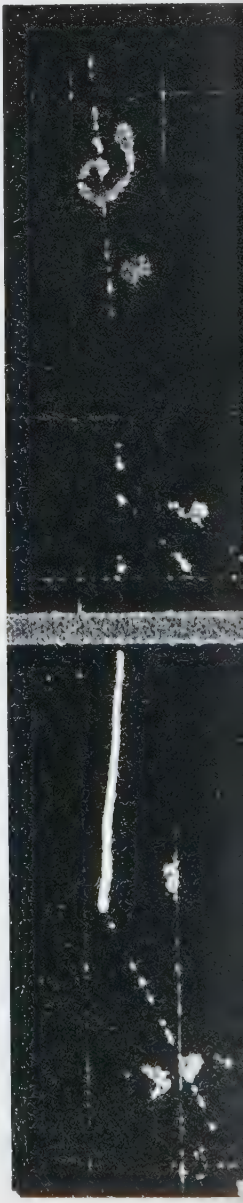
À la sixième ligne de ce manuscrit portant sur la « la loi d'équivalence entre la masse et l'énergie ($E = Mc^2$) », Einstein invoque Leibniz. De fait, Einstein s'est intéressé très tôt – peut-être plus que par la suite – aux questions philosophiques, en partie sous l'influence d'un étudiant logé par sa famille, Max Talmey, avec lequel il lut et discuta à l'âge de treize ans certains textes de Leibniz et *La Critique de la Raison pure* de Kant.

Le temps revu et corrigé

En particulier, ils ne seront jamais d'accord sur les durées, par exemple sur le temps que met un bébé, voyageant à bord du train, pour boire son biberon. Au moment où le bébé commence à boire, A fait démarrer son chronomètre ; il l'arrête au moment où le bébé a fini. A considère donc deux couples d'événements simultanés : d'abord le passage de l'aiguille du chronomètre au zéro qui est, pour lui, simultané

du premier mouvement de succion du bébé, et ensuite, le moment où l'aiguille indique, par exemple, 6 minutes et 10 secondes, qui est pour lui simultané du moment où le bébé rejette son biberon. Il dit alors : « Ce bébé a bu son biberon en 6 minutes et 10 secondes. »

Si B mesure le temps que met le bébé à avaler son biberon, il trouvera, selon les calculs d'Einstein, un temps différent, plus grand. Il y a « dilatation des temps ». De même, si B mesure la largeur des fenêtres du train qui passe, il trouve, toujours selon les calculs d'Einstein, une largeur plus petite que celle que mesure A qui est dans le train et se déplace avec les dites fenêtres. Il y a « contraction des longueurs ». En revanche, si B mesure la hauteur des fenêtres – c'est-à-dire leur dimension dans une direction qui est perpendiculaire à celle du mouvement du train –, il trouve la même chose que A ; la contraction des longueurs n'intervient que dans la direction du mouvement.



La relativité, une affaire de perspective

Ces effets relativistes de dilatation du temps et de contraction des longueurs sont tout à fait comparables aux effets habituels de perspective qui, on le sait, peuvent déformer les objets : des droites parallèles semblent, vues sous un certain angle, se rejoindre ; des longueurs que l'on sait être égales paraissent différentes. La théorie élaborée en 1905 par Einstein nous dévoile un effet de perspective auquel

nous ne nous attendions pas : A et B voient ce qui se passe dans le train sous deux « angles » différents ; ce qui se traduit par un raccourcissement des longueurs et une dilatation des temps.

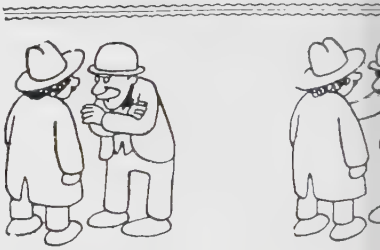
Les paradoxes sur le temps et l'espace ont fait couler beaucoup d'encre et continuent à exciter l'imagination. Pour bon nombre de gens, Einstein est celui qui nous a révélé que le temps n'est pas le même pour tous, n'est pas absolu ; et une partie de son prestige tient au fait qu'il a modifié l'un de nos concepts les plus fondamentaux. La théorie de la relativité a été considérée dès les débuts comme une théorie ayant des implications philosophiques. Cela apparut clairement lors de la visite qu'Einstein fit à Paris en 1922 dans des circonstances politiques troublées. Toute l'intelligentsia parisienne était au rendez-vous lorsqu'il prononça une conférence à la Sorbonne. Au premier rang était assis Bergson, auteur d'un ouvrage intitulé *Durée et simultanéité* qui ne

Dans *Monsieur Tompkins au pays des Merveilles* (1940), le physicien George Gamow met en scène un employé qui, après avoir lu un livre sur la relativité, rêve qu'il est dans un monde où la vitesse de la lumière n'est que de 15 km/s, ce qui rend observables certains des effets prévus par la théorie de la relativité. «Quand il rouvrit les yeux, il se trouvait au coin d'une rue [...]. Un unique cycliste roulait lentement ; à son approche, les yeux de M. Tompkins s'écarquillèrent d'étonnement. Car la bicyclette et le jeune homme qui la montait étaient incroyablement aplatis dans la direction de leur mouvement [...]. M. Tompkins se sentit très fier de comprendre : c'était simplement la contraction des corps en mouvement dont il était question dans ce qu'il venait de lire.»

La dilatation du temps a pour effet que la durée de vie d'une particule paraît augmentée à un observateur qui la voit passer à une vitesse voisine de celle de la lumière. La dilatation peut être assez grande pour rendre la particule observable (photo au centre) alors qu'elle ne dure qu'une fraction de millionième de seconde.

pouvait manquer d'interroger le maître. La légende veut qu'Einstein n'ait rien compris à ce que disait Bergson ; elle ne précise pas si c'est parce qu'Einstein n'était pas suffisamment familiarisé avec la langue française ou si c'est pour des raisons théoriques plus profondes.

Mais pour un physicien l'importance d'Einstein ne tient pas tant aux modifications qu'il a apportées aux concepts d'espace et de temps qu'au fait qu'il a réussi à soumettre la lumière, en la débarrassant de l'éther, au même principe que la matière : la relativité. Dorénavant, la lumière est sans support, elle se propage dans le vide et il n'existe plus qu'une seule théorie, la physique, unifiant à la fois la matière et la lumière.



— Comment ! monsieur, mais c'est abominable : vous ne paraissez pas du tout au courant des nouvelles théories d'Einstein !

« La façon do prêtez la relativi est tout simplem

Monsieur P. Langevin, Professeur au C

Paris

Votre honorée lettre, par laquelle [illegible] op

A. Einstein, Bor[illegible]

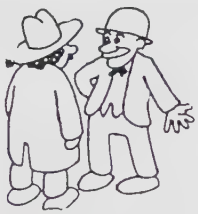
pour le prix Nobel de physique en 1922 est bien p

Nobel de physique de l'Académie Royale des

Septembre 1905 : le post-scriptum le plus célèbre de la physique

Quatre mois ne s'étaient pas écoulés depuis la publication de l'article exposant la théorie de la relativité qu'Einstein lui ajoutait un post-scriptum, sous forme d'un court article de trois pages, envoyé le 27 septembre 1905 à l'éditeur et dans lequel il démontre la formule la plus célèbre de toute la

En 1922, dans le cadre de la reprise des relations scientifiques entre la France et l'Allemagne, interrompues par la Première Guerre mondiale, Einstein fut invité par le Collège de France – et plus précisément par Paul Langevin – à venir exposer ses théories. Ce fut un triomphe.



« Quant à votre conception des équilibres, elle est grotesque.

« Je vais vous laisser mon adresse ; vous viendrez me trouver et je vous expliquerai tout ça à tête reposée.

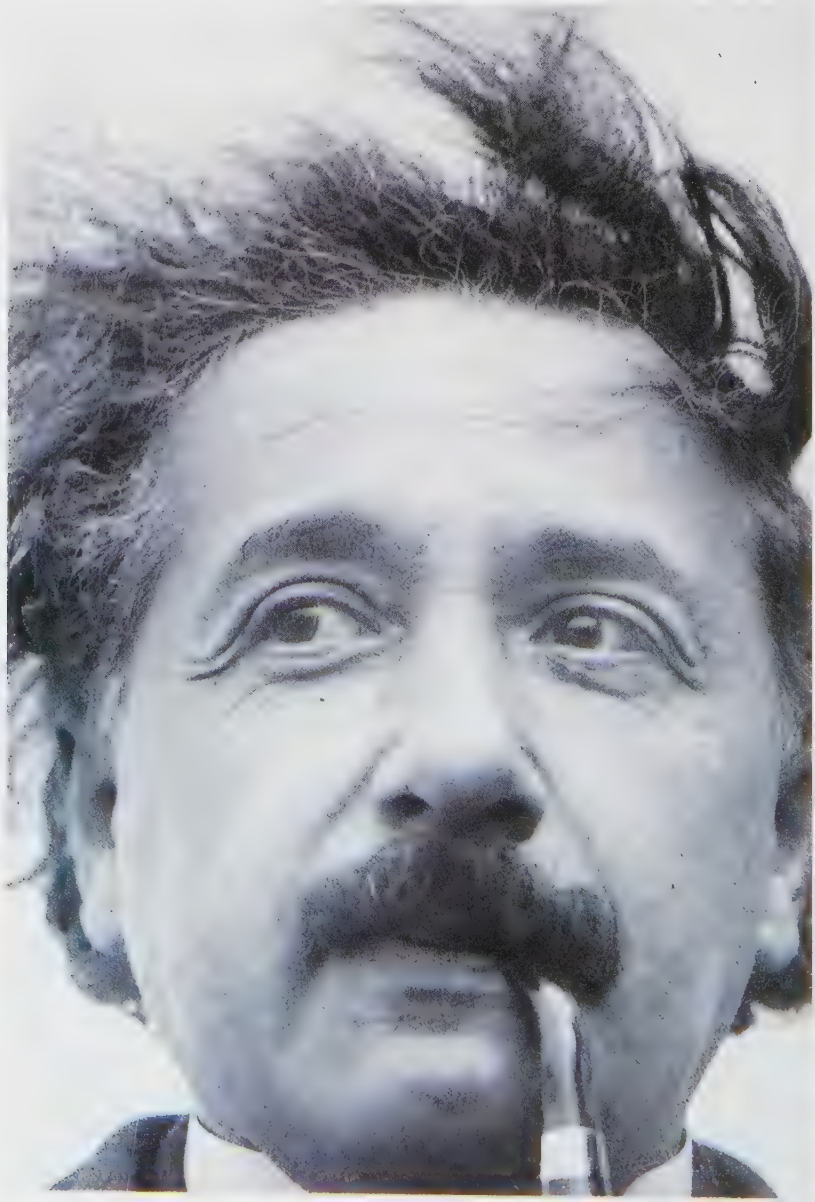
— C'est que je ne suis pas pour longtemps à Paris... Vous comprenez... heu ! heu ! Je suis M. Einstein. »

physique : $E = Mc^2$, présentée comme une conséquence intéressante de sa théorie. Considérant un corps qui émet sous forme de lumière une certaine énergie L, Einstein démontre, calculs à l'appui, que la masse du corps émetteur a été diminuée d'une quantité L/c^2 où c est toujours la vitesse de la lumière. Il en conclut que la masse d'un corps est liée à son contenu en énergie : si le corps absorbe de l'énergie, sa masse augmente ; s'il en perd, sa masse diminue. Masse (M) et énergie (E) sont donc équivalentes ; il n'y a entre les deux qu'un simple facteur de conversion, lequel vaut c^2 : $E = Mc^2$.

Et Einstein ajoute, prémonitoire : « Il n'est pas exclu que les processus radioactifs, où les contenus en énergie des corps sont modifiés de façon notable, puissent servir à établir la vérité de ma théorie. » On sait que ce pronostic a été confirmé de façon spectaculaire : l'énergie nucléaire – qu'elle soit utilisée à des fins pacifiques ou militaires – résulte de la conversion de masse en énergie prévue par la théorie de la relativité.

Einstein reçut le prix Nobel en 1922 non pour la théorie de la relativité – jugée trop aventureuse par certains membres du comité – mais «pour ses travaux sur l'effet photoélectrique», supposés avoir des applications industrielles.

La grande presse rendit largement compte du voyage d'Einstein à Paris. Les caricaturistes s'en donnèrent à cœur joie.



« En ce moment, le problème de la gravitation m'occupe totalement. Une chose est sûre : de toute ma vie je n'ai été aussi tourmenté. A côté de ce problème, la relativité restreinte n'est qu'un jeu d'enfant. »

Lettre à Sommerfeld, 191

CHAPITRE IV
MATIÈRE, ESPACE, TEMPS

La popularité d'Einstein repose en grande partie sur un contresens à propos des concepts qu'il a révolutionnés – comme l'illustre cette caricature où l'auteur joue sur les deux sens du mot temps.

Le temps n'existe pas. (EINSTEIN.)

— *C'est sûrement du beau temps qu'Einstein veut parler.*

Relativité restreinte, relativité générale

La théorie de la relativité ne pouvait satisfaire Einstein car elle était incomplète, ou comme l'on dit aujourd'hui « restreinte ». Il pensait que, dans une théorie complète de la relativité, aucun objet ne devait jouir d'un statut privilégié. Certes, il avait débarrassé la physique de l'éther ; mais toute trace d'absolu, ou de privilège, avait-elle pour autant disparu ?

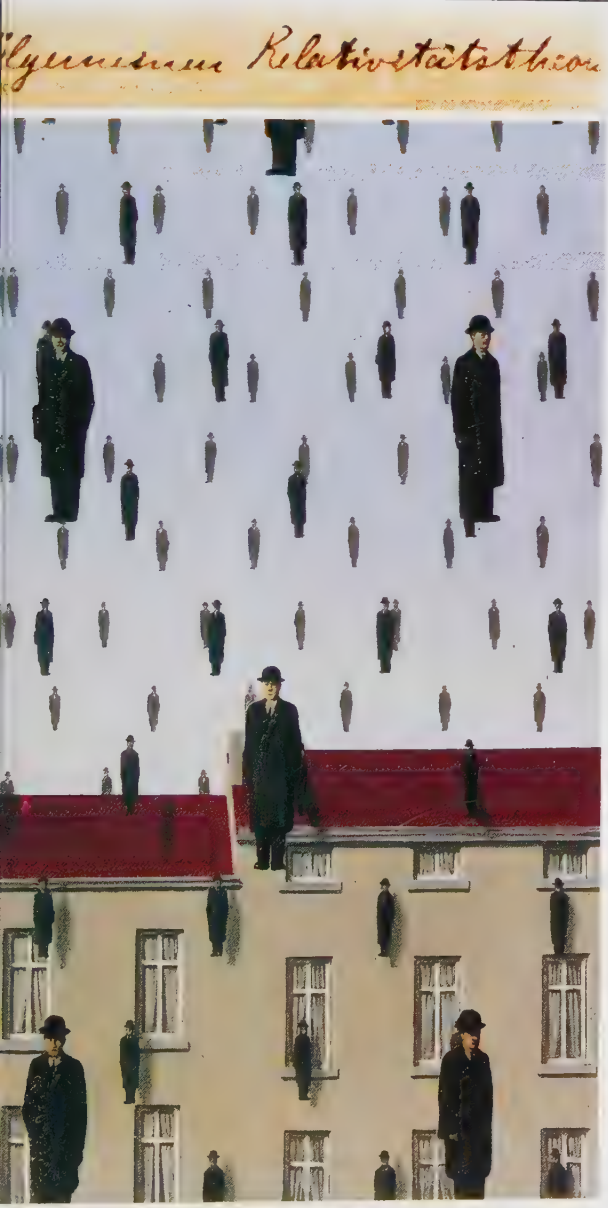
Non, répond Einstein dès 1907. Revenons un instant à Galilée et au principe de relativité selon lequel le mouvement d'un bateau qui vogue à vitesse constante est « comme nul ». L'adjectif important ici est « constant » ; car le seul mouvement qui est comme nul est le mouvement en ligne droite à vitesse constante, « uniforme ».

Or, dit Einstein, pourquoi le mouvement uniforme aurait-il un statut privilégié ? Ne serait-il pas plus satisfaisant pour l'esprit d'exiger que tous les points de vue soient équivalents sans que cela ait à voir avec le mouvement ? N'y a-t-il pas là, ajoute-il en plaisantant, un manquement à la démocratie ?

A cette exigence démocratique, on a donné le nom de « principe de relativité générale ».

La loi de la chute des corps

Enoncer un principe aussi large n'a de sens que si celui-ci donne la clé de phénomènes jusqu'alors inexpliqués. Tel est précisément le cas : le principe de relativité générale permet de comprendre pourquoi tous les corps tombent sur la Terre avec la même accélération.



En 1953, lorsque Magritte peignit *Golconde*, l'apesanteur avait encore quelque chose de surréaliste. Aujourd'hui, les images des cosmonautes flottant dans l'espace nous l'ont rendue familière. Pourtant le tableau de Magritte n'a rien perdu de sa charge provocatrice : ces hommes en chapeau melon qui sont en train de tomber mais semblent se croire immobiles ont quelque chose de gênant. A vrai dire, Magritte a réussi à illustrer cette notion essentielle : les points de vue des divers observateurs sont équivalents quel que soit leur mouvement.

Galilée avait constaté ce phénomène en lâchant depuis le haut de la tour de Pise des balles faites de plomb, de pierre, de bois, ou de papier. Newton n'avait pu fournir d'explication satisfaisante, lui qui avait interprété la chute des corps à la surface de la Terre comme un cas particulier d'un phénomène plus général : l'attraction qui s'exerce entre deux blocs de matière – ici la Terre et le corps qui tombe. Il était mort en laissant à ses successeurs le soin de dire en vertu de quel principe, dans leur attraction par la masse de la Terre, tous les corps, quelle que soit leur masse, sont animés du même mouvement, caractérisé par l'« accélération de la pesanteur ».

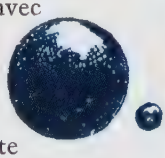
Cette énigme disparaît si l'on adopte le principe de relativité générale. Imaginons deux observateurs A et B. A tombe en chute libre dans un ascenseur dont le câble s'est rompu, tandis que B observe l'événement

Newton était loin d'être satisfait de son «explication» de la gravitation. «Il est inconcevable que la matière inanimée et brute puisse, sans la médiation de quelque chose qui n'est pas matériel, agir sur ou affecter une autre matière, sans contact mutuel, comme ce doit être le cas si la gravitation est, au sens d'Epicure, essentielle et inhérente à la matière. Et c'est l'une des raisons pour lesquelles je n'ai pas voulu que l'on m'attribue l'idée d'une gravité innée. Que la gravité soit innée, inhérente et essentielle à la matière en sorte qu'un corps puisse agir sur un autre à distance au travers du vide [...] est pour moi une absurdité dont je crois qu'aucun homme, ayant la faculté de raisonner de façon compétente dans les matières philosophiques, puisse jamais se rendre coupable. La gravité doit avoir pour cause un agent agissant selon certaines lois constantes ; mais que cet agent soit matériel ou immatériel, c'est ce que j'ai laissé à la considération de mes lecteurs.»

depuis l'escalier. A tient dans sa main une pierre qu'il lâche à un certain moment sans lui donner de vitesse, en écartant simplement les doigts.

Il constate que la pierre reste à ses côtés, sans bouger. Il ne s'en étonne pas car il explique ce phénomène par la loi d'inertie de Newton, selon laquelle «un corps sur lequel on n'agit pas garde toujours la même vitesse» (ici nulle, puisque A a simplement lâché la pierre sans lui donner de vitesse).

Selon le principe de la relativité générale, le point de vue de B doit être équivalent à celui de A, dans l'ascenseur. B explique ce qu'il voit (la pierre qui reste aux côtés de A) en disant que l'une et l'autre sont attirés par la terre et «tombent». Mais pour expliquer que la pierre ne va pas plus vite que A (ou l'inverse), il est obligé d'invoquer la loi de Galilée selon laquelle «tous les corps tombent avec le même mouvement quelle que soit leur masse».



On voit donc que le point de vue de B ne peut être équivalent à celui de A que si la loi de la chute des corps est vraie. Autrement dit : la loi de la chute des corps et le principe de relativité générale sont indissociables.

«Si vous saviez toutes les difficultés que j'ai eues en mathématiques!»

Einstein a l'idée du principe de relativité générale et de son rapport avec le mystère de la pesanteur dès 1907. Il faut attendre 1915 pour que la théorie de la relativité générale soit clairement formulée. On a pu dire à une certaine époque que seules trois personnes étaient capables d'en comprendre le détail mathématique. C'est probablement exagéré ; mais il est vrai qu'Einstein dut apprendre

beaucoup de mathématiques nouvelles, suffisamment « modernes » pour ne pas avoir fait partie des programmes qu'il avait suivis au *Polytechnicum*, pourtant réputé pour la qualité de son enseignement.

En 1908, Einstein quitte le Bureau des brevets. Il obtient un poste universitaire, d'abord à Berne puis à l'université de langue allemande de Prague durant l'année 1911-1912. En 1912, il est nommé professeur au *Polytechnicum* de Zurich – ce qui représente une forme de revanche sur les années de chômage de sa jeunesse. Il y retrouve Marcel Grossmann, son ancien camarade d'études, qui enseigne les mathématiques. Einstein lui demande de l'aider à apprendre les mathématiques nécessaires à la construction de

Plus que l'attrait de la capitale d'une nation qu'il détestait, ce sont probablement des raisons sentimentales qui ont poussé Einstein à quitter Zurich (en haut) pour Berlin en 1913 (ci-dessus, l'institut de physique Kaiser-Wilhelm) : la vie avec Milèva était devenue un enfer. Se séparer d'elle était, dira-t-il plus tard, «une question de vie ou de mort».

sa théorie. Grossmann accepte à la condition expresse qu'il n'apparaisse jamais comme responsable des idées physiques. Les deux hommes écrivent ainsi plusieurs articles en commun, comportant toujours une partie physique sous la responsabilité d'Einstein et une partie mathématique dont Grossmann assume la paternité.

Cette collaboration ne fut pas vraiment heureuse. En effet, les deux amis commirent très vite une erreur de jugement dans laquelle ils se confortèrent l'un l'autre et qui entraîna Einstein sur une fausse piste pendant trois longues années. Au début du mois de novembre 1915, Einstein comprit son erreur. Ce fut alors une véritable avalanche de résultats nouveaux. A l'époque, Einstein, qui, en 1913, a été nommé à Berlin, la Mecque de la science allemande, est membre de l'académie des sciences de Prusse. Cette institution se réunit tous les jeudis. En quatre jeudis successifs, les académiciens assistent en direct à la naissance d'une des plus belles théories du siècle.

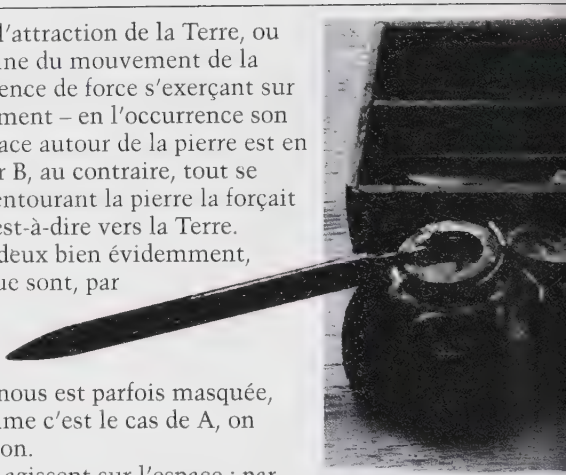
L'espace n'est pas ce que l'on croit

On aura remarqué que lors de l'analyse de la chute de la pierre dans l'ascenseur dont le câble a lâché, A et B attribuent le mouvement de la pierre à des causes

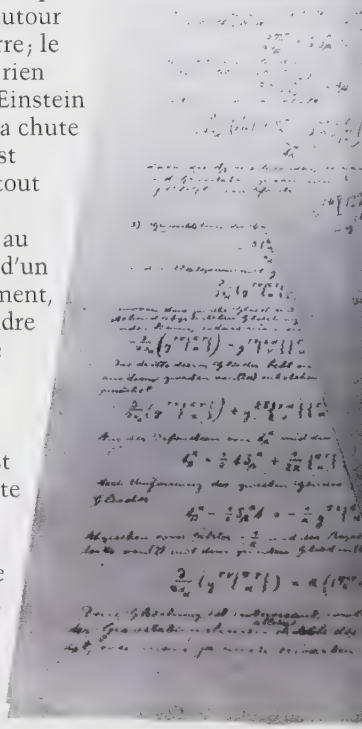
"C'est avec ce problème en tête [celui du passage à un espace courbe] que je rendis visite en 1912 à mon vieux camarade d'études, Marcel Grossmann, qui entre-temps était devenu professeur de mathématiques au *Polytechnicum*. Il prit aussitôt feu et flamme, bien qu'en tant que mathématicien, il eût été tenté d'adopter une attitude quelque peu sceptique à l'égard de la physique [...]. Il passa en revue tous les ouvrages publiés et découvrit bientôt que le problème mathématique en question avait déjà été résolu [...]. Qui aurait pu prévoir, alors que mon vieil ami et moi travaillions dans l'enthousiasme, qu'un mal sournois emporterait si tôt cet homme remarquable ?"

différentes : pour B, c'est l'attraction de la Terre, ou pesanteur, qui est à l'origine du mouvement de la pierre ; pour A, c'est l'absence de force s'exerçant sur elle qui cause son mouvement – en l'occurrence son immobilité. Pour A, l'espace autour de la pierre est en quelque sorte inerte ; pour B, au contraire, tout se passe comme si l'espace entourant la pierre la forçait à se diriger vers le bas, c'est-à-dire vers la Terre.

Qui a raison ? Tous les deux bien évidemment, puisque leurs points de vue sont, par principe, équivalents. L'espace agit toujours sur les objets qu'on y place ; simplement cette action nous est parfois masquée, par exemple lorsque, comme c'est le cas de A, on subit soi-même cette action.



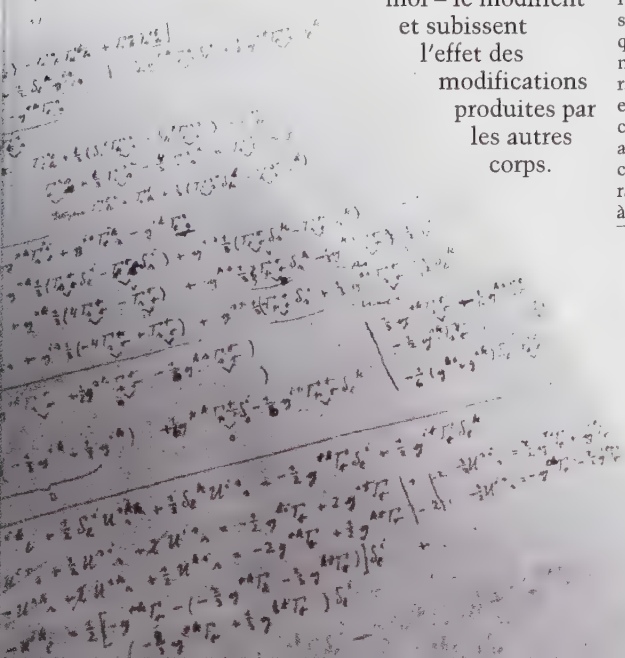
Inversement, les objets agissent sur l'espace : par sa seule présence, la Terre modifie l'espace autour d'elle, et donc à l'endroit où se trouve la pierre ; le mouvement de chute de la pierre n'est alors rien d'autre que la réponse à cette modification. Einstein propose ici une autre manière d'interpréter la chute des corps : la force d'attraction de Newton est remplacée par une modification de l'espace tout autour des corps ; les deux explications sont équivalentes en ce sens qu'elles aboutissent au même résultat : la pierre tombe sur la Terre d'un mouvement uniformément accéléré. Simplement, la conception d'Einstein permet de comprendre pourquoi tous les corps tombent d'un même mouvement à la surface de la Terre : ils subissent la même déformation de l'espace.

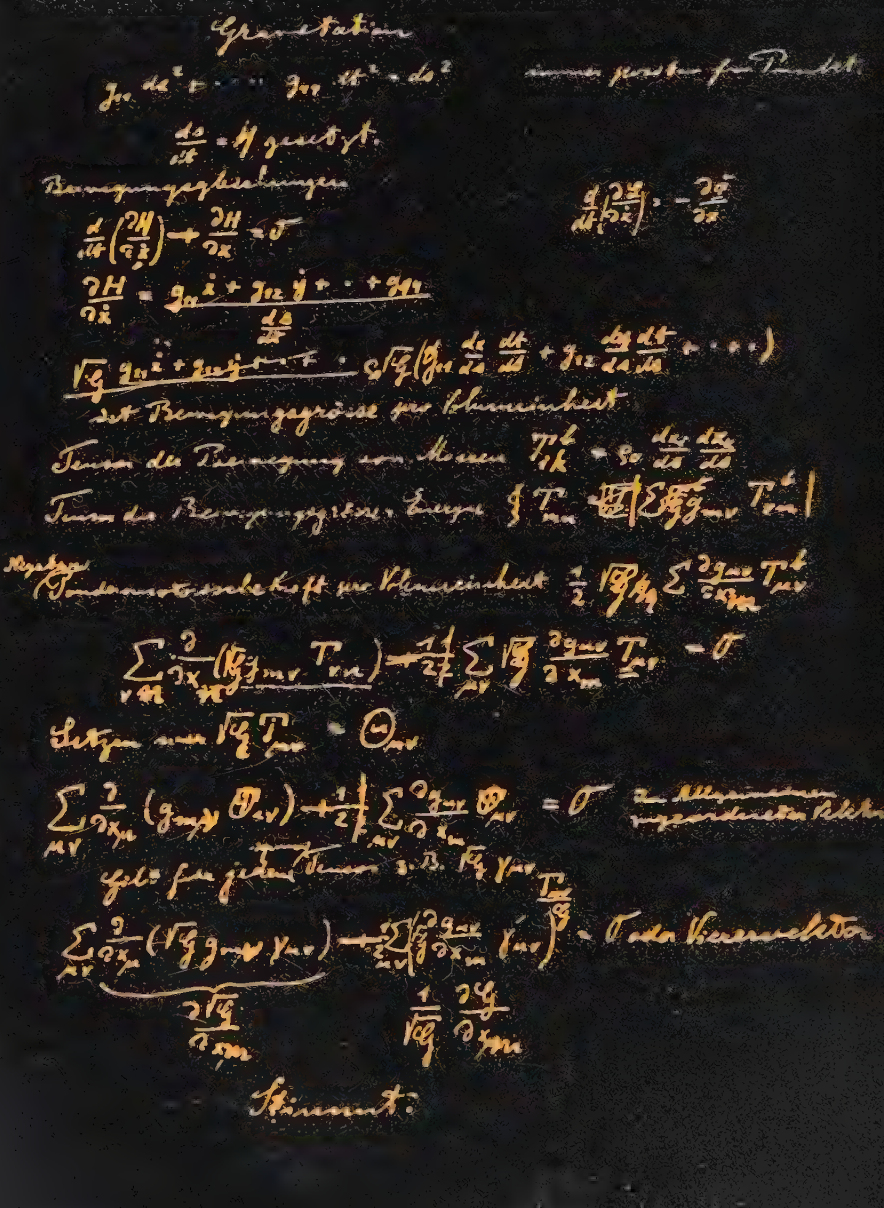


Que l'espace agisse toujours sur les objets qu'on y place et qu'il soit modifié par eux est certainement la nouveauté la plus importante apportée par la théorie de la relativité générale. Spontanément, on se représente l'espace comme une boîte vide dans laquelle on place des objets sans que l'espace dans la boîte en soit modifié. La physique classique – jusqu'en 1915 – ne change pas cette vision spontanée du monde. Newton introduit entre les objets placés dans la grande boîte

des forces, les forces d'attraction, telles par exemple celles qui règnent entre la Terre et une pierre que l'on lâche à sa surface. Mais ces forces n'ont pas d'autre action que celle de communiquer aux corps en question un mouvement – le mouvement de chute de la pierre, la Terre, trop lourde, reste pour sa part immobile. Elles ne modifient pas l'espace. En ce sens, celui-ci est « absolu » : rien ne peut l'affecter. Einstein propose une tout autre vision du monde : les objets que l'on place dans l'espace – la Terre, la pierre, le Soleil, vous, moi – le modifient et subissent l'effet des modifications produites par les autres corps.

Songeant au pouvoir des mathématiques et à la manière dont il a, avec une plume, de l'encre et du papier, révolutionné notre conception de l'espace, Einstein écrit : « Une énigme a de tout temps fortement troublé les chercheurs. Comment est-il possible que les mathématiques, qui sont issues de la pensée humaine indépendamment de toute expérience, s'appliquent si parfaitement aux objets de la réalité ? La raison humaine peut-elle donc, sans l'aide de l'expérience, par sa seule activité pensante, découvrir des propriétés des choses réelles ? [...] Il me semble que pour autant que les propositions mathématiques se rapportent à la réalité, elles ne sont pas certaines, et pour autant qu'elles sont certaines, elles ne se rapportent pas à la réalité. »





Gravitation

$g_{11}\,dx^2 + \dots + g_{44}\,dt^2 = ds^2$ immer positiv für Punkt.

$\frac{ds}{dt} = H$ gesetzt.

Bewegungsgleichungen

$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial H}{\partial \dot{x}}\right) - \frac{\partial H}{\partial x} = 0$ $\qquad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial \varphi}{\partial \dot{x}}\right) = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$

$\frac{\partial H}{\partial \dot{x}} = \frac{g_{11}\dot{x} + g_{12}\dot{y} + \dots + g_{14}}{\frac{ds}{dt}}$

$\sqrt{g}\,\frac{g_{11}\dot{x} + g_{12}\dot{y} + \dots}{} = \varrho\sqrt{g}\left(g_{11}\frac{dx}{ds}\frac{ds}{dt} + g_{12}\frac{dy}{ds}\frac{ds}{dt} + \dots\right)$

ist Bewegungsgrösse pro Volumeinheit

Tensor der Bewegung von Massen $T_{ik} = \varrho_0 \frac{dx_i}{ds}\frac{dx_k}{ds}$

Tensor der Bewegungsgrösse, Energie

Ponderomotorische Kraft pro Volumeinheit $\frac{1}{2}\sqrt{g}\sum \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_m} T_{\mu\nu}$

$\sum_{\nu\mu} \frac{\partial}{\partial x_\mu}\left(\sqrt{g}\,g_{m\nu} T_{\nu\mu}\right) - \frac{1}{2}\sum_{\mu\nu}\sqrt{g}\,\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_m} T_{\mu\nu} = 0$

Setzen wir $\sqrt{g}\,T_{\mu\nu} = \Theta_{\mu\nu}$

$\sum_{\mu\nu} \frac{\partial}{\partial x_\mu}\left(g_{m\nu}\Theta_{\mu\nu}\right) - \frac{1}{2}\sum_{\mu\nu}\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_m}\Theta_{\mu\nu} = 0$ zu allgemeinem zugeordneten

gilt für jeden Tensor z. B. $\sqrt{g}\,\gamma_{\mu\nu}$

$\sum_{\mu\nu} \frac{\partial}{\partial x_\mu}\left(\sqrt{g}\,g_{m\nu}\gamma_{\mu\nu}\right) - \frac{1}{2}\sum_{\mu\nu}\sqrt{g}\,\frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x_m}\gamma_{\mu\nu} = 0$ oder Vierervektor

$\frac{\partial \sqrt{g}}{\partial x_m} \qquad \frac{1}{\sqrt{g}}\frac{\partial g}{\partial x_m}$

Stimmt.

Nochmalige Berechnung des Elementensors

$$\frac{1}{2}\left(\frac{\partial^2 g_{im}}{\partial x_k \partial x_l} + \frac{\partial^2 g_{kl}}{\partial x_i \partial x_m} - \frac{\partial^2 g_{il}}{\partial x_k \partial x_m} - \frac{\partial^2 g_{km}}{\partial x_i \partial x_l}\right)$$

$$- \frac{1}{4}\gamma_{\rho\sigma}\left(\frac{\partial g_{i\rho}}{\partial x_l} + \frac{\partial g_{l\rho}}{\partial x_i} - \frac{\partial g_{il}}{\partial x_\rho}\right)\left(\frac{\partial g_{k\sigma}}{\partial x_m} + \frac{\partial g_{m\sigma}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{mk}}{\partial x_\sigma}\right) \Bigg| \gamma_{kl}$$

$\gamma_{kl}\frac{\partial^2 g_{im}}{\partial x_k \partial x_l}$ bleibt stehen.

$$\ldots_{kl}\begin{bmatrix} k l \\ i \end{bmatrix} = \gamma_{kl}\left(2\frac{\partial g_{il}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{kl}}{\partial x_i}\right) = 0 \quad \Big| \frac{\partial}{\partial x_m}$$

$$\ldots_{kl}\begin{bmatrix} k l \\ m \end{bmatrix} \quad \gamma_{kl}\left(2\frac{g_{mk}}{\partial x_l} - \frac{\partial g_{kl}}{\partial x_m}\right) = 0 \quad \Big| \frac{\partial}{\partial x_i}$$

$$\ldots_{kl}\left(\frac{\partial^2 g_{il}}{\partial x_k \partial x_m} + \frac{\partial^2 g_{mk}}{\partial x_i \partial x_l} - \frac{\partial^2 g_{kl}}{\partial x_i \partial x_m}\right) + \frac{\partial \gamma_{kl}}{\partial x_m}\left(2\frac{\partial g_{il}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{kl}}{\partial x_i}\right) + \frac{\partial \gamma_{kl}}{\partial x_i}\left(2\frac{\partial g_{mk}}{\partial x_l}\right.$$

$$\ldots\gamma_{kl}\left(\quad\right) = \frac{1}{4}\left|\frac{\partial \gamma_{kl}}{\partial x_m}\left(2\frac{\partial g_{il}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{kl}}{\partial x_i}\right) + \frac{\partial \gamma_{kl}}{\partial x_i}\left(2\frac{\partial g_{mk}}{\partial x_l} - \frac{\partial g_{kl}}{\partial x_i}\right)\right.$$

zweites Glied:

$$\frac{1}{4}\gamma_{\rho\sigma}\frac{\partial g_{l\rho}}{\partial x_i}\frac{\partial g_{k\sigma}}{\partial x_m}\gamma_{kl} \qquad + \frac{1}{4}\frac{\partial \gamma_{\rho\sigma}}{\partial x_i}\frac{\partial g_{k\sigma}}{\partial x_m} g_{l\rho}\gamma_{lk} \qquad \frac{1}{4}\frac{\partial \gamma_{\rho\sigma}}{\partial x_i}\frac{\partial g_{k\sigma}}{\partial x_m}$$

$$\frac{1}{4}\gamma_{\rho\sigma}\left(\frac{\partial g_{i\rho}}{\partial x_l} - \frac{\partial g_{il}}{\partial x_\rho}\right)\left(\frac{\partial g_{m\sigma}}{\partial x_k} - \frac{\partial g_{mk}}{\partial x_\sigma}\right)\gamma_{kl}$$

$$\frac{1}{2}\gamma_{\rho\sigma}\gamma_{kl}\frac{\partial g_{i\rho}}{\partial x_l}\frac{\partial g_{m\sigma}}{\partial x_k} + \frac{1}{2}\gamma_{\rho\sigma}\gamma_{kl}\frac{\partial g_{il}}{\partial x_\rho}\frac{\partial g_{m\sigma}}{\partial x_k}$$

... mit 2 multipliziertem Elementensor erhält also die Form

$$\ldots_{kl}\frac{\partial^2 g_{im}}{\partial x_k \partial x_l} - \frac{1}{2}\frac{\partial \gamma_{kl}}{\partial x_m}\frac{\partial g_{kl}}{\partial x_l} + \frac{\partial \gamma_{kl}}{\partial x_m}\frac{\partial g_{il}}{\partial x_k} + \frac{\partial \gamma_{kl}}{\partial x_i}\frac{\partial g_{mk}}{\partial x_l}$$

$$\ldots\gamma_{\rho\sigma}\gamma_{kl}\frac{\partial g_{i\rho}}{\partial x_l}\frac{\partial g_{m\sigma}}{\partial x_k} + \gamma_{\rho\sigma}\gamma_{kl}\frac{\partial g_{il}}{\partial x_\rho}\frac{\partial g_{m\sigma}}{\partial x_k}$$

Resultat sicher. Gilt für Koordinaten, die der Gl. $\Delta\varphi = 0$ genügen.

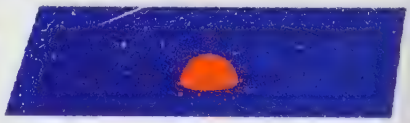
Comme une orange sur une toile...

Se représenter cette modification n'est évidemment pas chose facile. Seules les mathématiques peuvent en fournir une véritable description. Faute de mieux, on peut s'imaginer l'espace comme une toile tendue

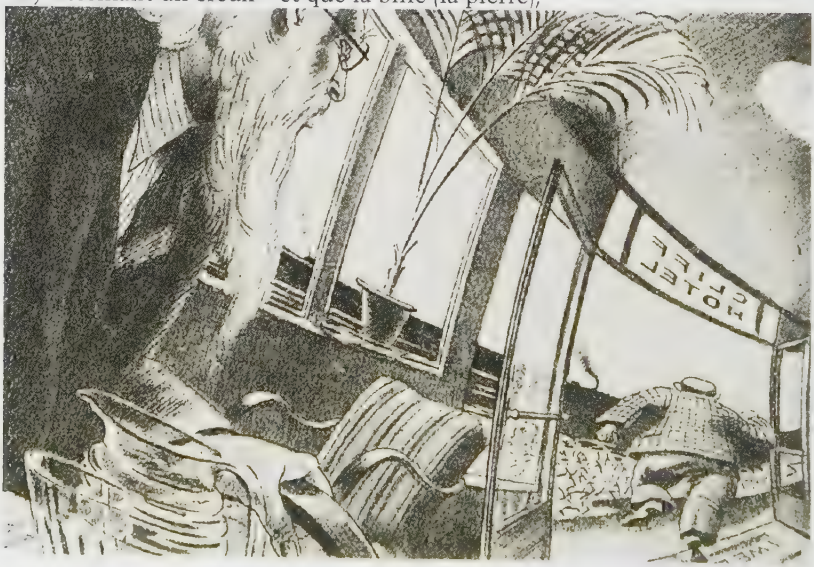
sur un cadre ; si l'on ne pose rien sur la toile elle est plane ; mais si on y dépose une orange – qui représentera, par exemple, la Terre –, celle-ci produit un petit creux à la surface de la toile et la déforme aux environs de l'endroit où elle se trouve.

Posons maintenant une bille sur le bord de la toile et lâchons-la – cette bille représente la pierre qu'on lâche ; elle roule le long de la ligne de plus grande pente jusqu'à ce qu'elle arrive sur l'orange (la Terre). Newton dit que la bille (la pierre) est attirée par l'orange (la Terre) ; mais on peut tout aussi bien dire, avec Einstein et tous les physiciens depuis, que l'orange (la Terre) a modifié l'espace – elle l'a déformé en y dessinant un creux – et que la bille (la pierre),

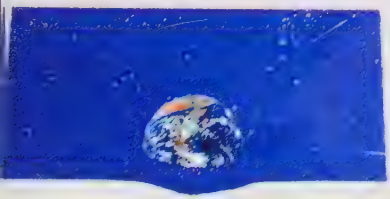
Dire que l'espace est «courbe», c'est dire que la plus courte distance d'un point à un autre n'y est pas la ligne droite de la géométrie euclidienne

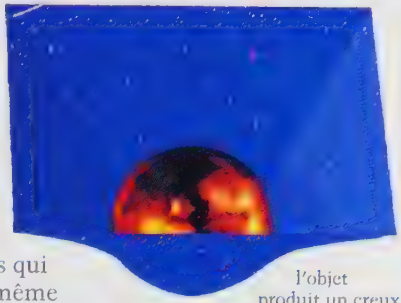


mais une courbe. Autrement dit, la géométrie euclidienne, que l'on apprend à l'école, ne décrit pas la réalité du monde.



sans qu'on y touche, roule tout naturellement le long de la ligne de plus grande pente. L'avantage de cette conception est qu'elle permet de voir immédiatement que toutes les billes – qu'elles soient faites de plomb, de bois, ou de papier – suivent nécessairement la même trajectoire, celle-ci étant entièrement déterminée par l'orange ; autrement dit tous les corps qui « tombent » sur la Terre le font d'un même mouvement... comme l'avait constaté Galilée.



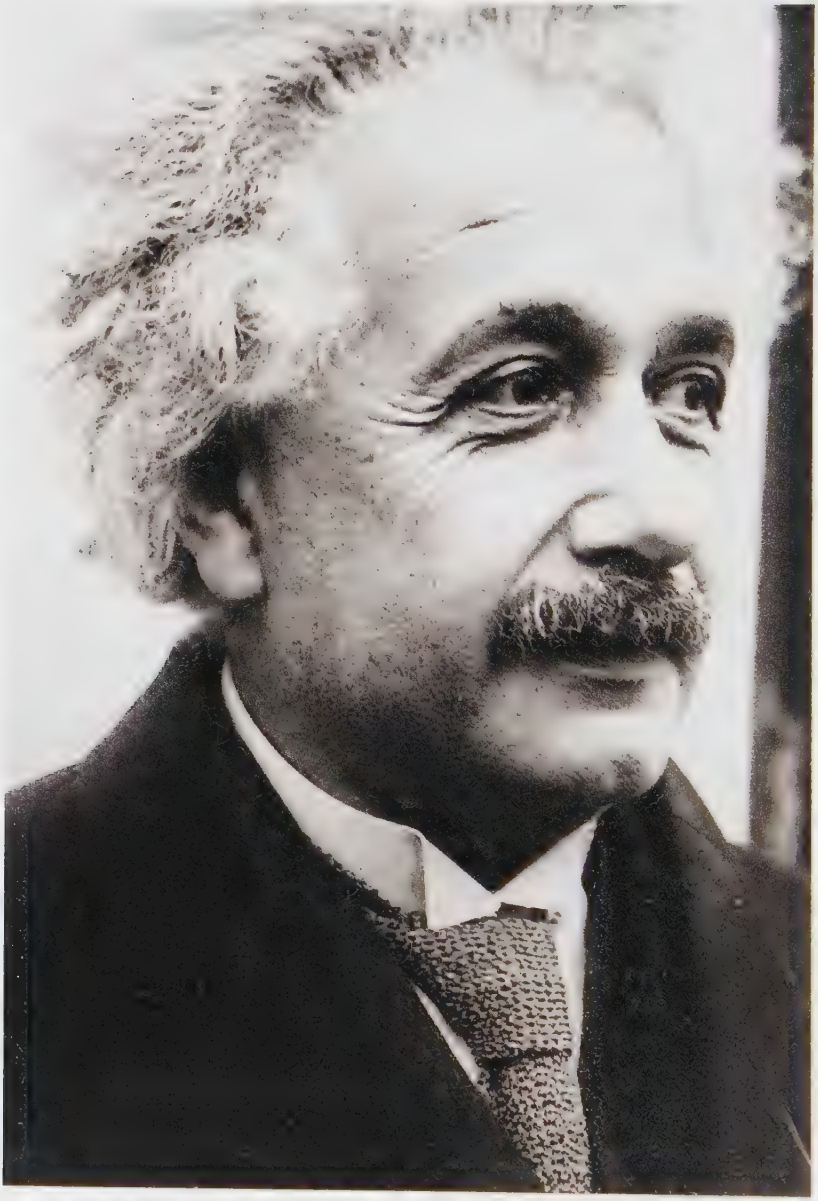


On peut se représenter la courbure que produit sur l'espace la présence d'une masse en imaginant un objet posé sur une toile ; l'objet produit un creux d'autant plus accentué qu'il est plus lourd.

Le temps et l'espace n'existent pas sans la matière

Dans la théorie de la relativité générale, non seulement l'espace est modifié par les corps qui s'y trouvent, mais encore il n'existe tout simplement pas sans ces corps. Rapidement dit : c'est la matière qui crée l'espace. Ou encore : il est impossible de vider l'espace de toute matière, car alors, il disparaît lui aussi. Plus même : lorsque dans tout ce qui précède nous avons parlé d'espace, nous aurions dû parler d'espace-temps, car, comme le suggère déjà la théorie de la relativité restreinte, qui mélange espace et temps, le théâtre du monde n'est pas un espace a trois dimensions tel que nous nous le représentons spontanément, mais un « espace » a quatre dimensions – les trois dimensions de l'espace ordinaire augmentées d'une dimension de temps.

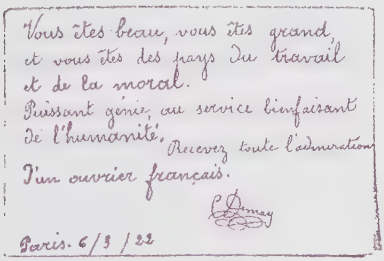
C'est donc non seulement l'espace, mais aussi le temps qui disparaît lorsque l'on vide le monde de la matiere. Inversement, et c'est la une idée qui va a l'encontre du sens commun, la matière crée à la fois l'espace et le temps.



« 7 heures. Arrivée à New York. Pire que tout ce que j'avais imaginé. Des légions de reporters s'approchaient de Long Island en bateau ; en prime le consul allemand. Et par-dessus le marché une armée de photographes qui se jetèrent sur moi comme des loups affamés. Les reporters posèrent des questions délibérément stupides, auxquelles je répondis par des plaisanteries faciles qui déclenchèrent l'enthousiasme. »

Journal de voyage,
11 décembre 1930

CHAPITRE V
DU BON USAGE DE LA GLOIRE


Vous êtes beau, vous êtes grand,
et vous êtes des pays du travail
et de la moral.
Puissant génie, au service bienfaisant
de l'humanité, Recevez toute l'admiration
d'un ouvrier français.
Paris. 6/9/22

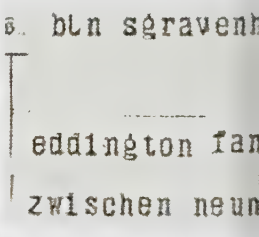
Einstein reçut cette carte lors de son voyage à Paris en 1922, organisé par le ministre des Affaires étrangères de la république de Weimar, Walther Rathenau, ardent défenseur de la réconciliation franco-allemande, assassiné peu de temps après par les nazis.

Einstein a raison contre Newton

Le 6 novembre 1919, quatre ans après l'achèvement de la théorie de la relativité générale, eut lieu à Londres une réunion conjointe de la Royal Astronomical Society et de la Royal Society, au siège de cette dernière. L'astronome royal – un personnage très important dans la hiérarchie de Cambridge –, sir Arthur Eddington, y annonça que les résultats recueillis lors de l'expédition qu'il avait menée à l'île Principe, petite colonie portugaise au large des côtes de l'Afrique occidentale, confirmaient entièrement la nouvelle théorie d'Einstein corrigeant celle de Newton, fondateur de la savante société et dont le portrait présidait la séance.

L'événement, qui en d'autres temps serait passé inaperçu, connut immédiatement une couverture médiatique sans précédent. Les téléscripteurs du monde entier propagèrent la nouvelle dont les journaux firent leur éditorial le lendemain matin. En une nuit, Einstein, qui n'était jusqu'alors qu'un obscur professeur d'université, devint une légende vivante.

"Newton, pardonne-moi; même pour un homme doué de ton incomparable puissance de réflexion et de création, il n'y avait qu'une seule voie possible; tu l'as trouvée. Les concepts que tu as forgés guident encore la pensée physique d'aujourd'hui, bien que nous sachions maintenant qu'ils doivent être remplacés par d'autres.**"**

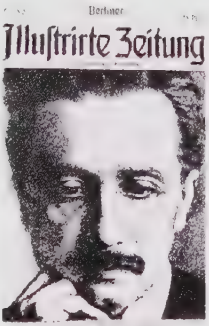


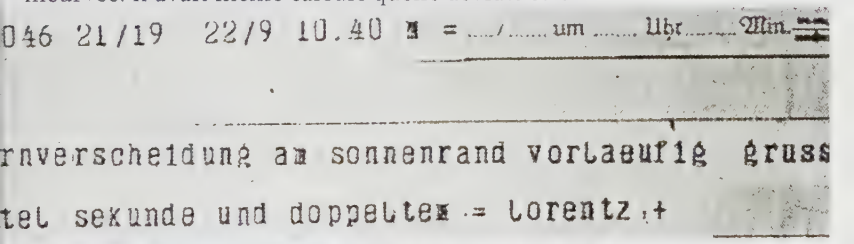
"Certaines affirmations de votre journal concernant ma vie et ma personne sont entièrement le fruit de la brillante imagination du rédacteur. Le lecteur se réjouira d'y voir encore une application différente du principe de relativité : je passe actuellement en Allemagne pour un «savant allemand» et en Angleterre pour un «Juif suisse». Supposons que le sort fasse de moi une «bête noire»; je deviendrai au contraire un «Juif suisse» en Allemagne et un «savant allemand» en Angleterre.**"**

Rectification envoyée au *Times* en 1919

Une fulgurante célébrité

En quoi consistaient donc ces observations d'Eddington ? Einstein avait prévu dès 1911, bien avant l'achèvement de la théorie de la relativité générale, que celle-ci devrait avoir pour conséquence que les rayons de lumière, au lieu de traverser l'espace en ligne droite comme on l'apprend à l'école – et comme cela reste vrai dans la plupart des cas d'observation courante –, devaient ressentir, eux aussi, la modification de l'espace – ou plus exactement de l'espace-temps – produite par les masses qui s'y trouvent et suivre une trajectoire incurvée. Il avait même calculé quelle devrait être



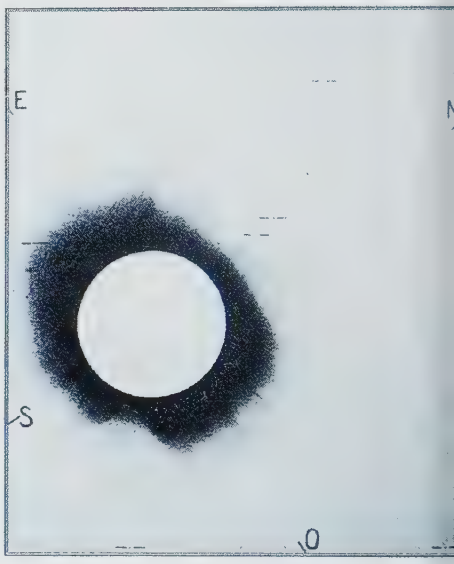


Le 22 septembre 1919, Lorentz envoya ce télégramme à Finstein : «Eddington trouvé déflexion étoiles autour Soleil. Mesures préliminaires entre 0,9 et le double.»

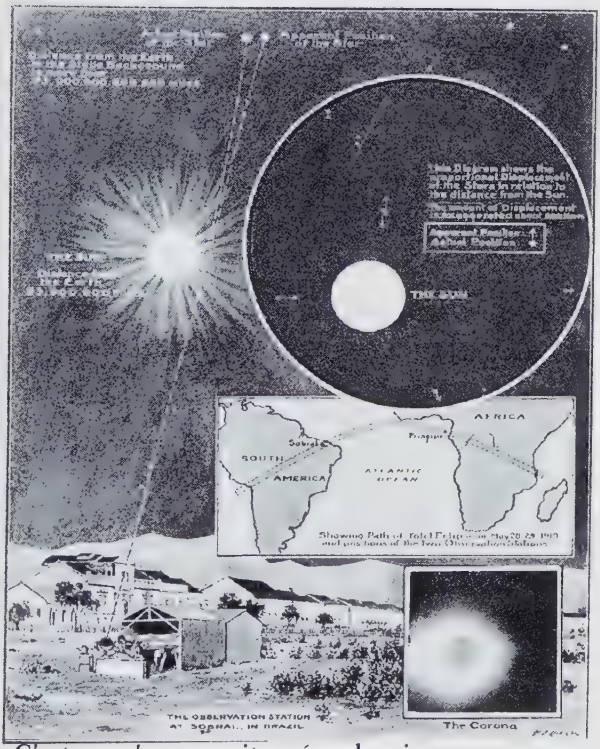
La célébrité d'Einstein (en haut la couverture du *Illustrierte Zeitung* en décembre 1919) ne fit pas que des heureux en Allemagne. Dès 1920, il fut l'objet d'une campagne antisémite. En France, c'est plutôt le fait d'être allemand qui lui était reproché.

la courbure des rayons issus d'une certaine étoile, située à ce moment-là derrière le Soleil, à leur passage au voisinage de celui-ci lors de leur propagation jusqu'à la Terre; il en avait déduit que l'étoile en question devrait apparaître à un autre endroit que là où on l'attendait.

Mais pour voir une étoile située derrière le Soleil, il faut que celui-ci soit totalement éclipsé, sinon la lumière éblouissante du Soleil empêche de rien voir d'autre; aussi la courbure des rayons lumineux prévue par Einstein ne peut-elle être vérifiée que de temps en temps, lors des éclipses totales de Soleil. Une équipe d'astronomes allemands avait été chargée d'effectuer des observations lors de l'éclipse totale, qui devait se produire en Sibérie, en août 1914. Mais la Première Guerre mondiale éclata quelques jours avant la date de l'éclipse; les astronomes allemands furent faits prisonniers par les Russes et la prédiction d'Einstein resta sans confirmation... Jusqu'à ce que les Anglais, en la personne d'Eddington, reprennent le flambeau une fois la guerre terminée. C'est ainsi que le 29 mai 1919, entre deux nuages, Eddington et ses assistants purent prendre quelques photos de la fameuse étoile au moment où le Soleil était totalement occulté. De retour en Angleterre, les clichés furent analysés. L'étoile se trouvait bien là où Einstein l'avait prédit. Ce dernier, prévenu par télégramme, aurait dit : « Cela ne m'étonne pas; le contraire aurait été dommage pour le Bon Dieu. »



« Lors de mon séjour en Angleterre, j'ai vu personnellement que les savants de là-bas sont en général plus libres de préjugés et plus objectifs que nos collègues allemands. Cela n'a d'ailleurs rien d'étonnant car ils vivent dans une situation à tous égards plus facile. Mais enfin, je ne peux m'empêcher de remarquer qu'un nombre non négligeable de savants anglais importants sont pacifistes et ont refusé de porter les armes, par exemple Eddington [à gauche] et Russell. »



« C'est ce qu'on pouvait espérer de mieux pour l'amélioration des relations scientifiques entre l'Angleterre et l'Allemagne » (Eddington à Einstein)

Tout cela n'explique pas pourquoi cet événement scientifique connut un tel succès. Pour le comprendre, il faut se souvenir que l'Europe sortait d'une boucherie fratricide de plus de quatre ans. Le fait que des astronomes anglais aient vérifié une théorie allemande fut immédiatement perçu, et présenté par un certain nombre de journalistes pacifistes et internationalistes, comme un symbole de paix retrouvée, comme la promesse que la science était capable de transgresser les nationalismes, était même un facteur de paix... On sait aujourd'hui ce qu'il faut penser d'une telle illusion, mais en 1919 l'opinion mondiale n'avait pas encore pris conscience

« Toute l'Angleterre parle de votre théorie», écrivait Eddington à Einstein en décembre 1919, avec une fierté à peine déguisée. Eddington est en effet celui qui, par son opiniâtreté, a rendu Einstein célèbre. Rassembler en pleine guerre les fonds nécessaires à deux expéditions au bout du monde destinées à vérifier la théorie très peu intuitive d'un savant allemand, au motif que cette dernière pourrait représenter «l'un des plus beaux exemples de l'efficacité du raisonnement mathématique», n'avait rien d'évident. Mais il en fallait plus pour arrêter Arthur Stanley Eddington, quaker, objecteur de conscience, défenseur inconditionnel de la relativité générale et de l'amitié entre les peuples. Il lui fallut également une bonne dose d'optimisme pour ne pas désespérer du ciel lorsque la pluie, qu'à Principe on attendait depuis trois semaines, se mit à tomber précisément à l'heure où devait se produire l'éclipse qu'il se proposait d'observer.

du potentiel destructeur que représente la maîtrise de la nature fournie par la science.

Le credo pacifiste

Einstein ne partageait pas complètement cette illusion ; en tout cas, il ne se payait pas de mots sur le caractère international de la science : « Le plus grand effet des sciences n'est pas de nature intellectuelle mais matérielle. Les découvertes techniques ont largement internationalisé les processus économiques

Dès octobre 1914, Einstein avait compris que la guerre ne laisserait que des vaincus. «Il est absolument nécessaire que les clercs de tous les Etats mettent leur poids dans la balance afin que les conditions de paix ne deviennent pas la source de guerres futures.»

et ont eu pour effet de transformer toute nouvelle guerre en une affaire d'importance internationale », écrivait-il en 1922. Et il ajoutait : « Quand cet état de fait sera ancré dans la conscience des hommes ils trouveront assez de bonne volonté pour créer des organisations capables d'empêcher les guerres. » Cette déclaration résume assez bien ce que désirait être son intervention politique : celle d'un homme de paix.

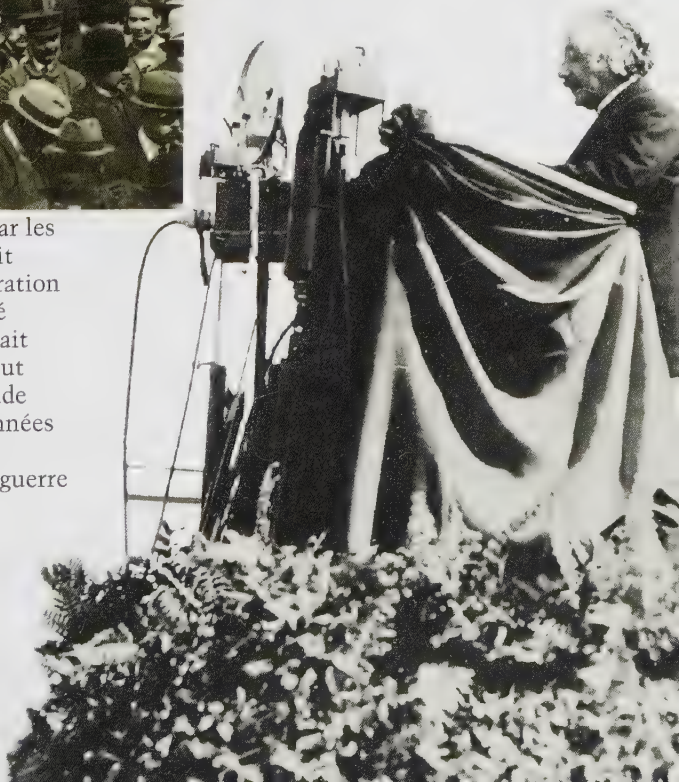
Einstein n'avait pas attendu la fin de la guerre pour manifester ses convictions pacifistes. Dès 1914, alors que toute l'intelligentsia de Berlin signait une pétition soutenant l'armée allemande et ses chefs, garants de la culture allemande et allant jusqu'à dénoncer « le spectacle honteux des Mongols et des Nègres jetés sur la race blanche », il rédigeait, en collaboration avec un autre de ses collègues de Berlin un « Appel aux Européens » invitant les intellectuels à peser de toute leur influence pour que cesse le déchaînement des passions nationalistes.

Le pacifisme d'Einstein trouve ses limites dans la conscience qu'il avait d'appartenir à une élite, comme si seuls les intellectuels pouvaient vouloir la paix : «La plupart des personnalités historiques importantes de l'Europe intellectuelle sont des pacifistes. Elles le sont en raison de la logique de leur occupation.»

Outre celles de ses rédacteurs, cet appel ne recueillit que deux signatures.

Mais il faut bien dire que l'activité politique d'Einstein pendant la guerre fut réduite à néant, à la fois parce que la période était on ne peut moins favorable aux pacifistes et parce qu'il était totalement occupé par la théorie de la relativité générale (Einstein, citoyen suisse, n'avait pas été mobilisé). A ces raisons s'ajoutent les complications de sa vie personnelle : Mileva et lui s'étaient séparés en 1914 et il devait en 1919 épouser sa cousine, avec laquelle il entretenait une liaison depuis un certain temps ; de plus, épuisé par les efforts qu'avait exigés l'élaboration de la relativité générale, il avait été presque tout le temps malade pendant les années 1917 et 1918.

La fin de la guerre lui apparut en revanche comme l'occasion idéale de manifester ses convictions politiques.

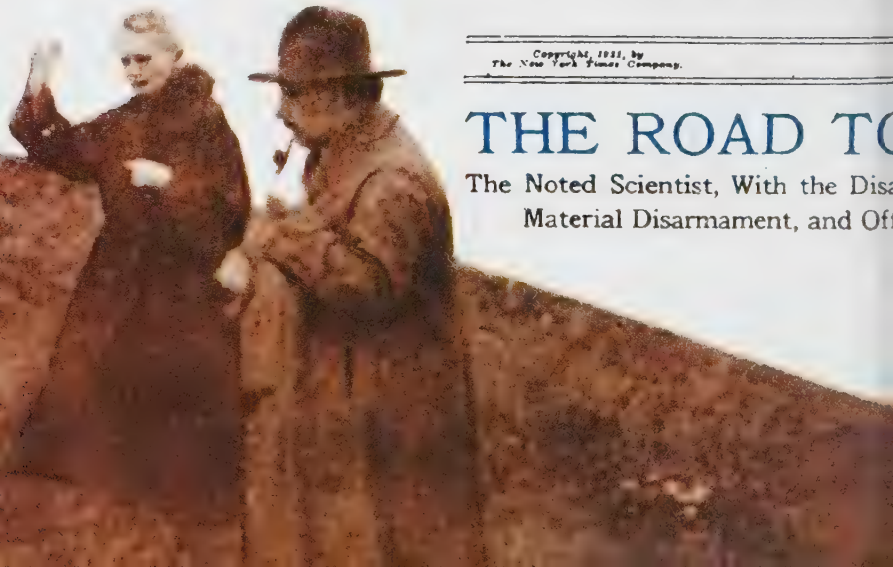


« Il est difficile de dire si c'est chez vous [les Français] la victoire ou chez nous la défaite qui a eu le plus funeste effet, en enflammant la passion nationaliste qui menace de perpétuer la haine séparant nos deux pays voisins », déclare Einstein lors d'un meeting du Bund Neues Vaterland – future Ligue des droits de l'homme – en l'honneur du pacifiste français Paul Colin en 1919.

Mettant en accord ses discours et ses actes, il décida que son devoir était, que cela lui plaise ou non, de ne pas se dérober à la soudaine célébrité qui lui tombait sur les épaules et de s'en servir au contraire pour faire avancer les causes qui lui tenaient à cœur, au premier chef celle de la paix. On peut donc dire que si le mythe Einstein est une création médiatique, il y a lui-même fortement contribué pour des raisons d'éthique personnelle.

Entre 1919 et 1933 – date à laquelle il dut quitter l'Allemagne – Einstein intervint sur plusieurs fronts, notamment au sein de la Commission de coopération intellectuelle de la Société des Nations, où il participa activement à la lutte contre le boycott de la science allemande organisé par les puissances alliées, où il anima une commission chargée de faire la lumière sur les crimes commis par l'armée allemande en Belgique durant la guerre et dont il démissionna en 1923 pour protester contre l'occupation de la Ruhr par l'armée française.

En 1932, Einstein et Freud échangent des lettres que la Société des Nations diffuse sous forme de brochure intitulée *«Warum Krieg?»*.



A noter aussi son soutien aux objecteurs de conscience – alors poursuivis par la justice : « A la suite des déceptions causées par les conférences sur le désarmement, écrit-il en 1931, j'en suis arrivé à la conviction que le monde ne pourra être délivré progressivement du fléau de la guerre que par les hommes qui ont eu le courage de se sacrifier en refusant tout service militaire. » L'arrivée de Hitler au pouvoir allait le faire changer d'avis.

Einstein et Marie Curie collaboraient à l'Institut de coopération intellectuelle de la Société des Nations (en bas à gauche lors d'une réunion à Genève). Ils entretenaient également des relations amicales, voire familiales, puisqu'ils passèrent un été de vacances avec leurs enfants respectifs dans les Alpes.

Albert Einstein et Paul Langevin (ci-contre à gauche) avaient en commun des convictions pacifistes affirmées et une même vision de la théorie physique. Langevin fut l'un des artisans du voyage d'Einstein à Paris, conçu comme un élément de la reconstitution de la communauté internationale des savants transcendant les ressentiments nationalistes. Langevin qui avait lui-même été très près d'établir l'équivalence entre masse et énergie (la fameuse formule $E = Mc^2$), fit beaucoup pour introduire en France les théories «allemandes» de la relativité et de la mécanique quantique, qu'il enseigna, très peu de temps après leur élaboration, au Collège de France.

NOVEMBER 22, 1931. TWENTY-FOUR PAGES

EACE—BY EINSTEIN

nt Conference in View, Calls for Mental as Well as an to Help Free the World From War's Menace

Une définition toute personnelle du judaïsme

Tout autant que la défense de la paix, la cause du peuple juif a été un des thèmes d'intervention les plus fréquents d'Einstein. Il était né dans une famille athée qui rêvait d'intégration. C'est lors de son séjour à Prague, en 1911-1912, que, semble-t-il, il prend conscience de ce que signifie le fait d'être juif.

« Quand je lis "citoyen allemand de confession juive", écrit-il un peu plus tard, en 1920, je ne peux

De la capitale de la Bohême, Prague (ci-contre le quartier juif), Einstein ne semble guère avoir goûté le charme, bien qu'il y ait sûrement rencontré Max Brod et peut-être Kafka.

pas m'empêcher de sourire douloureusement. Que cache cette belle appellation ? Existe-t-il une incroyance qui fasse que l'on cesse d'être juif ? Non. »

« Parler de foi, ajoute-t-il, est une manière de masquer que ce qui caractérise un Juif ce n'est pas sa foi, mais son appartenance à la nationalité juive. Nous devons réapprendre à être fiers de notre histoire, et nous devons réassumer comme peuple des tâches culturelles de nature à renforcer notre sentiment communautaire. »

Telle est l'essence de ce qu'Einstein nomme le judaïsme. C'est donc avec espoir qu'il accueille la « déclaration Balfour » par laquelle l'Angleterre s'engage, le 2 novembre 1917, à créer en Palestine, placée sous mandat britannique, un « foyer national juif ». C'est dans cette optique qu'il milite en faveur de la création en Palestine d'une université de haut niveau – « pas une université de paysans » – et accepte en 1921 d'effectuer une tournée aux Etats-Unis afin de récolter les fonds nécessaires à cette entreprise. « Evidemment, écrit-il sans illusions, on n'a pas besoin de moi pour mes compétences,

mais seulement à cause de mon nom, dont l'attrait publicitaire est prometteur d'une riche moisson auprès des Juifs fortunés de Dollarie. » De fait, Einstein, jusqu'à la fin de sa vie, restera attentif au développement de l'université hébraïque de Jérusalem, dépensant beaucoup de temps et de diplomatie à en régler les conflits internes et allant même jusqu'à établir les programmes

Après l'armistice, la Palestine, ancien territoire de l'Empire ottoman, fut placée sous mandat britannique, ce qui permit au gouvernement anglais d'honorer la déclaration Balfour.

de mathématiques et de physique du futur enseignement.

Einstein ne pouvait ignorer que les colons juifs, dont il admirait par ailleurs l'ardeur au travail et les réalisations, s'installaient sur des terres appartenant à des propriétaires arabes. Il s'est à plusieurs reprises exprimé sur ce sujet, condamnant sans équivoque les extrémistes juifs, mais aussi arabes – particulièrement à l'occasion des émeutes arabes de Jérusalem en 1929. En réalité, Einstein espérait que le gouvernement britannique, poussé par son opinion publique, en laquelle il plaçait plus d'espoirs qu'il n'était raisonnable, assurerait l'harmonie des relations entre

A la suite de sanglantes manifestations, une commission d'enquête britannique recommanda l'abrogation du mandat et la partition de la Palestine en un Etat arabe et un Etat juif, solution a laquelle Einstein était *a priori* hostile.

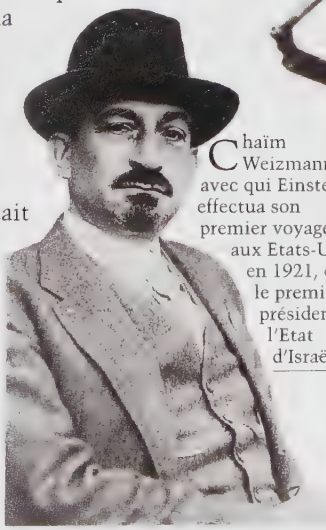
les deux communautés.

Dans les années trente, sa conviction de la nécessité d'un foyer juif fut évidemment renforcée par la montée de l'antisémitisme en Allemagne. C'est donc, comme une nécessité imposée par les circonstances, qu'il acceptera la création de l'Etat d'Israël après la Seconde Guerre mondiale.

La lutte contre le national-socialisme

Parce qu'il était juif, parce qu'il défendait les droits de l'homme, et parce qu'il était pacifiste et mondialiste, Einstein fut très vite la cible des extrémistes qui devaient fournir le gros des troupes du national-socialisme.

En 1920, l'un de ses collègues, Philipp Lenard, avait organisé avec l'aide d'un groupuscule antisémite un meeting « antirelativiste » à la Philharmonie de Berlin. Ce n'était là



Chaïm Weizmann, avec qui Einstein effectua son premier voyage aux Etats-Unis en 1921, devint le premier président de l'Etat d'Israël.

que la première manifestation d'un mouvement qui devait par la suite se développer au sein de l'université allemande et dont Lenard fut l'un des chefs de file. Ce mouvement, connu sous le nom de « science allemande », entendait nettoyer la science de toute trace non aryenne : la théorie de la relativité et la théorie quantique étaient leurs cibles préférées. Après la prise du pouvoir par Hitler, en 1933, les savants juifs furent très rapidement rayés des cadres de l'université et il fut interdit de prononcer ne serait-ce que le nom d'Einstein.

Einstein quitta l'Allemagne en 1933. Plus

exactement, il se trouvait en voyage aux Etats-Unis au moment où, à la fin du mois de janvier, Hitler s'empara du pouvoir. Il décida à son arrivée en Europe de ne pas rejoindre Berlin et de rester en Belgique. Simultanément, il envoya une lettre de démission à l'académie des sciences de Prusse, ne voulant plus dépendre d'un gouvernement qui « refuse l'égalité des droits devant la loi ainsi que la liberté de parole et d'enseignement ». Devant l'aggravation de la situation en Allemagne, il accepta l'offre qui lui était faite par l'Institute for Advanced Study de Princeton, tout récemment créé, et qui devait dans les années trente accueillir bon nombre de réfugiés prestigieux.

Familienname (bei

Vornamen (Rufnam

Familienstand:
Vor- und Familien-(G
des (bzw. früheren)

"La situation qui est actuellement celle de l'Allemagne m'amène à renoncer par la présente au poste que j'occupe à l'Académie des sciences de Prusse. L'Académie m'a permis pendant dix-neuf ans de me consacrer à mes travaux scientifiques [...]. Il m'est cependant devenu insupportable, dans la situation actuelle, de dépendre du gouvernement prussien, ainsi que mes fonctions m'y obligent."

Vorstehend bezeichne
am | durch

Der Deutschen
Bekanntmachun
Deutschen Rei
1934.

Ort und Datum:

eburtsname): Einstein

treichen): Albert

ledig | verheiratet | verwitwet | geschieden

ne

Elsa geb. Einstein

ift rechtskräftig verurteilt worden:

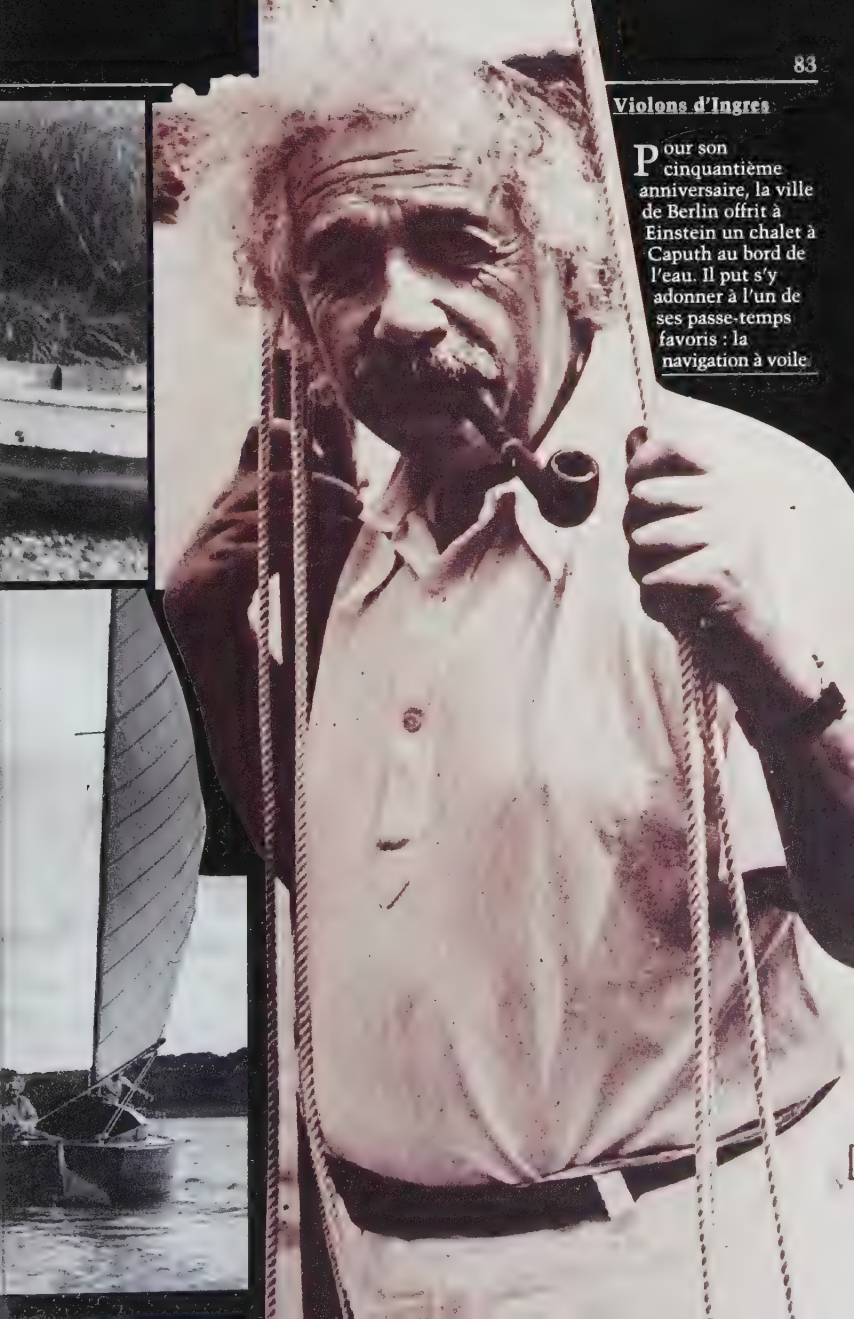
wegen	auf Grund von	zu	Bemerkunge
sangehörigkeit für verlustig erklärt durch 24.3.1934, veröffentlicht in der Nr.75 des eigers u. Preußischen Staatsanzeigers vom 29.3			

Der Oberstaatsanwalt beim Landgericht

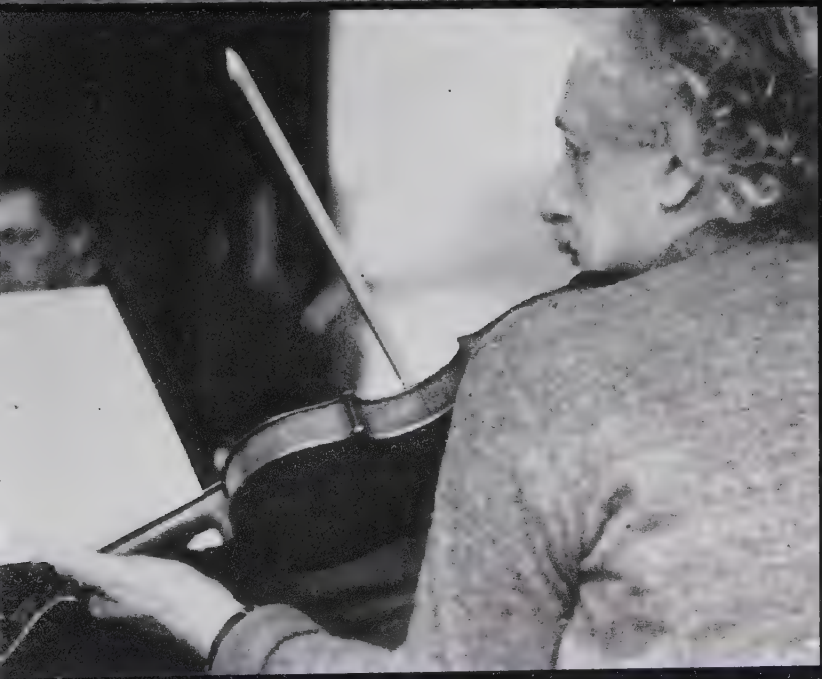
Unterschrift (Behörde):

Violons d'Ingres

Pour son cinquantième anniversaire, la ville de Berlin offrit à Einstein un chalet à Caputh au bord de l'eau. Il put s'y adonner à l'un de ses passe-temps favoris : la navigation à voile



Einstein tenait de sa mère l'amour de la musique. Etait-il bon violoniste ? Les avis divergent. Il n'empêche que le violon et plus particulièrement la musique de chambre ont tenu une grande place dans sa vie. Il alla même jusqu'à donner des concerts, à Carnegie Hall, au profit d'une des innombrables entreprises humanitaires qu'il patronnait. Lors de ses voyages, sur les grands paquebots qui l'emmenaient au Japon, aux Etats-Unis ou en Amérique latine, il aimait jouer, au gré des rencontres, en trio ou en quatuor.

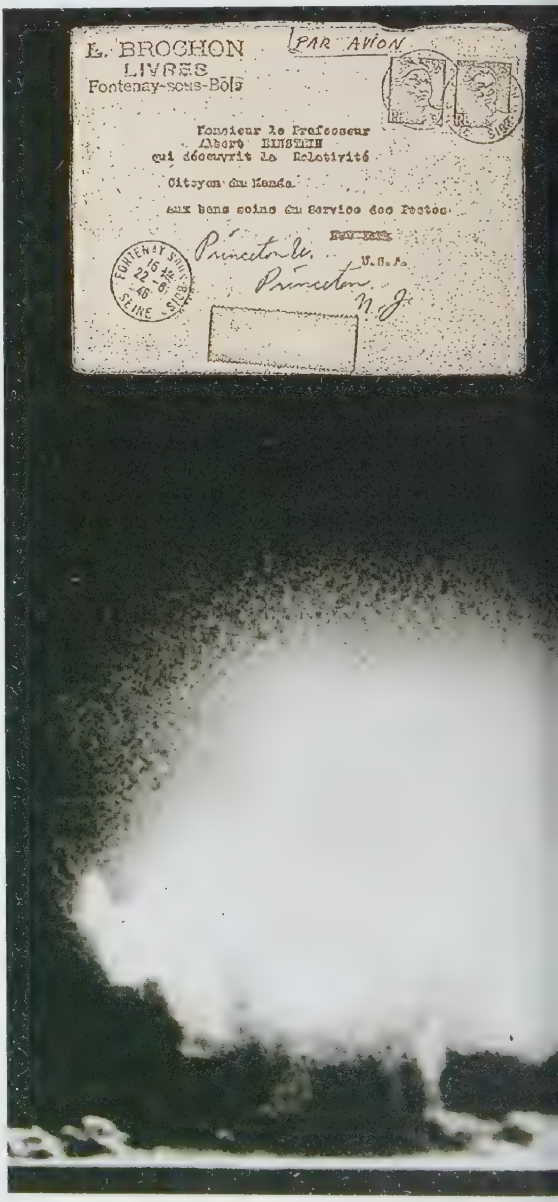


Einstein émigra donc en 1933 aux Etats-Unis – il prendra la nationalité américaine en 1940. Cela ne l'empêcha pas de participer activement au sauvetage des Juifs allemands, en particulier des nombreux universitaires réfugiés en France, en Angleterre ou aux Etats-Unis et à qui on ne proposa pas de poste en or comme à lui. Il refusa toute relation avec les universitaires restés en Allemagne et développa même à la fin de sa vie une haine véritablement primitive des Allemands, assez étonnante chez quelqu'un qui donne l'impression par ailleurs d'avoir agi selon les règles de la raison.

L'exil à Princeton

Einstein a vécu vingt-deux ans aux Etats-Unis, sans presque jamais quitter Princeton, cette retraite dorée où il n'avait d'autre obligation que de fréquenter des gens aussi célèbres que lui. Vingt-deux ans pendant lesquels il fut cependant constamment sollicité sur tous les sujets. Il ne se déroba jamais.

De sa vie politique aux Etats-Unis, on a surtout retenu la lettre qu'il



envoya au président Roosevelt, le 2 août 1939, pour l'inciter à lancer un programme de fabrication d'une bombe nucléaire avant que les Allemands n'y parviennent. On connaît la suite de l'histoire : les physiciens et techniciens américains, rassemblés dans une espèce de camp militaire en plein désert, dans l'Ouest américain, à Los Alamos, réussirent à fabriquer une bombe dont deux exemplaires furent lâchés sur Hiroshima et Nagasaki, mettant fin à la guerre avec le Japon mais faisant des centaines de milliers de victimes.

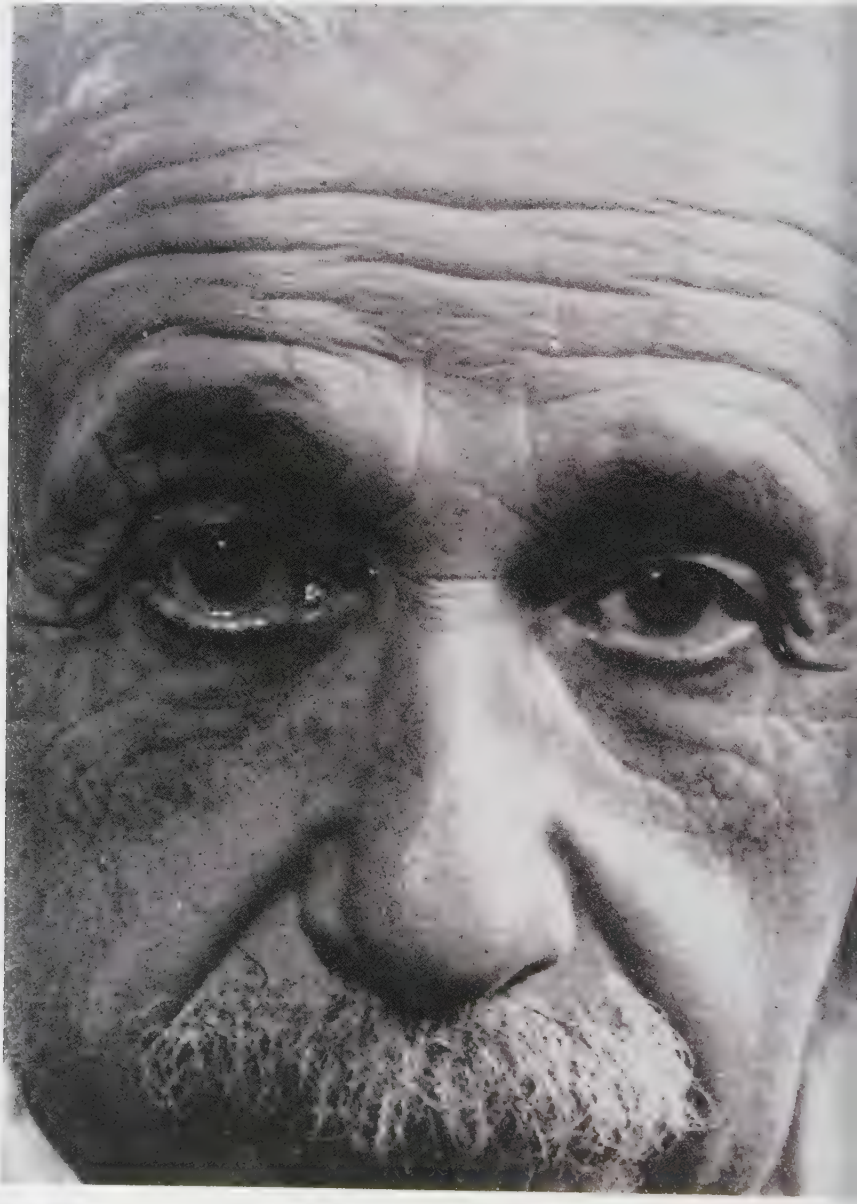
De 1945 à sa mort, en 1955, Einstein soutint de son autorité morale le Comité d'urgence des savants atomistes, organisation créée par certains de ceux qui avaient participé à l'entreprise de Los Alamos et que la mainmise de l'Etat et de l'armée sur la recherche scientifique inquiétait. Il prit également une part active à la résistance des intellectuels américains à l'hystérie anticommuniste qui se développa durant la période du « mac-carthysme ». Il intervint en particulier dans l'affaire des époux Ethel et Julius Rosenberg, physiciens communistes soupçonnés de trahison, qui furent condamnés à mort. Son dernier acte politique, et aussi son dernier écrit, est, comme une réédition de son premier « Appel aux Européens » en 1914, un appel aux scientifiques pour l'abolition de la guerre, rédigé avec le philosophe anglais Bertrand Russell.

"Les armes offensives disponibles sont telles qu'aucun lieu sur terre n'est à l'abri d'une destruction subite et totale. La seule protection que l'on puisse espérer réside en une paix qui soit garantie par des instances supranationales. Il faut créer un "gouvernement mondial" qui soit en mesure de résoudre les conflits entre les nations par des décisions fondées sur le droit."

Message aux étudiants de Chicago

"Einstein se ramène avec son exigence qu'on ne doit pas livrer la bombe atomique à d'autres puissances, surtout pas à la Russie. [...] Le «gouvernement mondial» que réclame Einstein semble conçu à l'image de la Standard Oil, avec dirigeants et dirigés. – Le brillant cerveau de spécialiste, logé dans un mauvais joueur de violon et un éternel collégien, avec une faiblesse pour les généralités en politique."

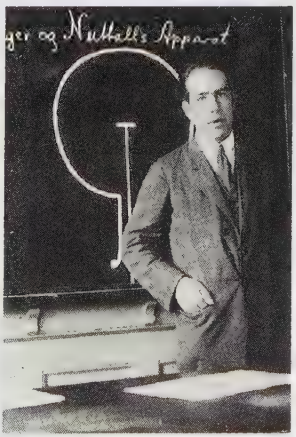
Bertolt Brecht, Journal de travail, 28 octobre 1945



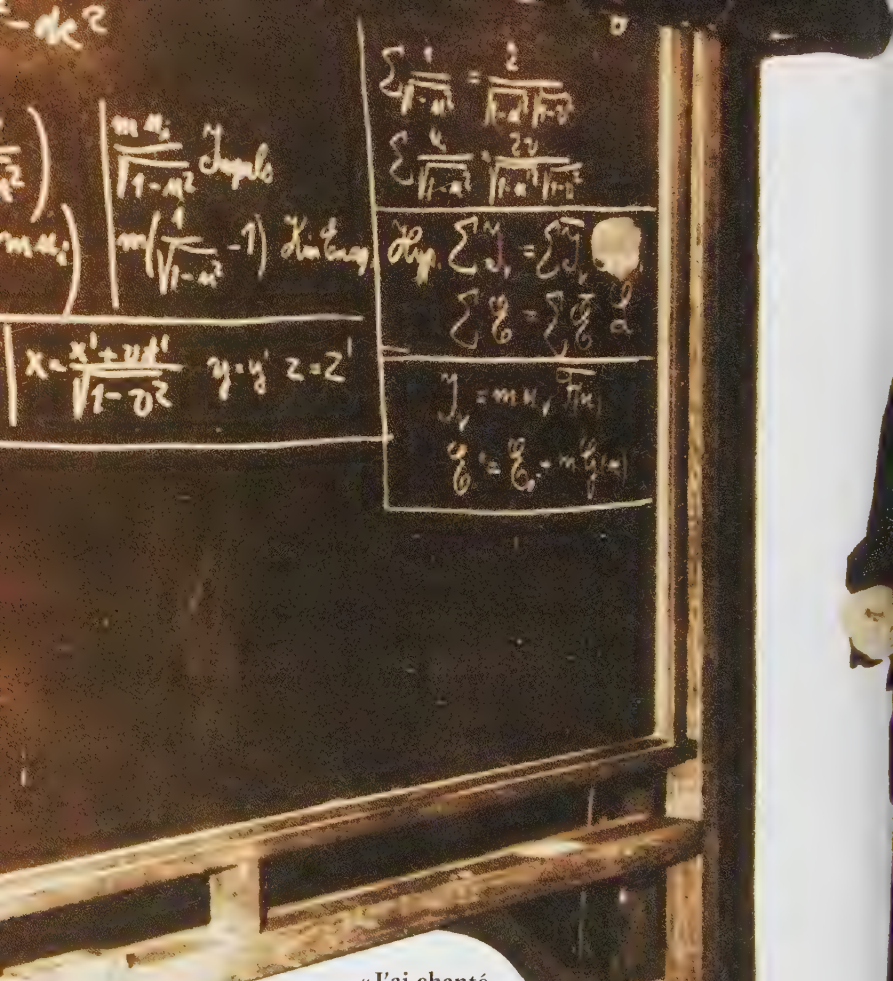
« Cher Bohr, je vous remercie de tout cœur pour toute la peine que vous vous êtes si amicalement donnée en une occasion aussi insignifiante [son soixante-dixième anniversaire]. En tout cas, c'est là une occasion qui ne dépend pas de la question cruciale de savoir si Dieu joue vraiment aux dés ou pas, et si nous devons nous en tenir à une réalité accessible à la description qu'en peut donner la physique». (4 avril 1949)

CHAPITRE VI

LE VIEIL HOMME SEUL



"Bohr profère ses opinions comme quelqu'un qui cherche à tâtons, jamais comme quelqu'un qui croit détenir une vérité définitive."



« J'ai chanté une nouvelle fois ma bonne vieille chanson solitaire »

Ainsi s'exprime Einstein en 1949 dans une lettre à Niels Bohr. Et il ajoute : « Cela me rappelle le refrain de ce vieux bouquin :

» Sur ce discours du candidat Jobche.

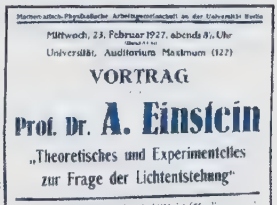
» Hochement général des caboches... »

De fait, c'est bien ainsi qu'Einstein finit sa vie de physicien : comme un vieil ancêtre que l'on écoute par politesse et respect pour

son grand âge et son passé glorieux, mais en attendant qu'il ait fini son boniment auquel personne n'attache de sens.

La divergence de point de vue entre Einstein et les physiciens des générations suivantes porte principalement sur le statut de la théorie quantique, qu'il avait contribué à faire naître en inventant le concept de quanta de lumière. On mesurera l'étrangeté de cette théorie qui rompt totalement avec les intuitions classiques, au fait qu'elle interdit en particulier de se représenter les objets physiques élémentaires – les électrons, les protons, les atomes même, dans certaines circonstances – comme des objets localisés suivant une trajectoire bien définie. Plus même, la théorie quantique interdit toute représentation visuelle des objets dont elle parle : un électron, par exemple, bien qu'indivisible et insécable, peut, dans certains circonstances – par exemple dans un microscope électronique –, suivre une infinité de trajectoires à la fois ; ce qui, si on en reste aux idées courantes, celles de la physique de Newton, n'a aucun sens.

Comme cela arrive souvent, Einstein, lorsqu'il devint moins productif, commença à répondre favorablement aux invitations de ses collègues, et se mit à parcourir le monde, donnant des conférences à droite et à gauche. Il fit en particulier plusieurs séjours d'assez longue durée aux Etats-Unis, en Californie notamment. Il trouva auprès des astronomes américains, intéressés au premier chef par les conséquences cosmologiques de la relativité générale, une sorte de protection contre le «virus quantique» qui envahissait les universités européennes.


Mittwoch, 23. Februar 1927, abends 8½ Uhr
Universität, Auditorium Maximum (122)
VORTRAG
Prof. Dr. A. Einstein
„Theoretisches und Experimentelles zur Frage der Lichtentstehung"

Le congrès Solvay de 1927

La controverse qui opposa Einstein aux jeunes gens qui, dans les années vingt, bâtirent la théorie

quantique à partir des idées lancées par Einstein en 1905, fut douloureuse pour les uns et pour les autres. Ces jeunes physiciens, Heisenberg, Pauli, Jordan, rassemblés autour de leur chef d'école, le Danois Niels Bohr, auraient bien aimé jouir de l'approbation de celui qu'ils considéraient comme leur père spirituel. Einstein, de son côté, aurait voulu pouvoir applaudir aux exploits de ces jeunes physiciens pour lesquels il avait beaucoup d'admiration voire même de l'affection. Niels Bohr, en particulier, l'avait séduit par la profondeur de sa pensée : « Vous rencontrer et vous parler fut une des expériences les plus fortes de ma vie », écrit Einstein qui en règle générale

était plutôt avare de superlatifs.

Mais le sort, ou le cours du développement de la physique, en décida autrement et les divergences théoriques entre Einstein et ses jeunes admirateurs, plus particulièrement entre Einstein et Bohr, prirent un tour spectaculaire et public en 1927, lors du cinquième congrès Solvay. Ernest Solvay était un industriel belge qui s'était enrichi en inventant un procédé de fabrication de la soude. Tout comme d'autres entretiennent des danseuses ou des clubs de football, il finançait des congrès scientifiques de haut niveau qui se tenaient à intervalles réguliers à Bruxelles.

En 1927, les jeunes turcs de la physique venaient enfin, après plusieurs années de discussions, de se mettre d'accord ; le congrès de Bruxelles leur donnait l'occasion d'exposer les

Dans l'entre-deux-guerres, les congrès n'étaient pas l'institution mondaine et touristique dont certains donnent l'image aujourd'hui. Les congrès Solvay, souvent imités et jamais égalés (ci-contre, celui de 1927), sont le modèle des congrès *select*, à petit nombre de participants soigneusement... sélectionnés, où les discussions sont vives et où chacun – à tort ou à raison – pense «faire avancer la science». A gauche, Einstein, en 1931, en compagnie notamment de Max Planck (à l'extrême gauche).

résultats dont, à juste titre, ils étaient particulièrement fiers. Certes, ils s'attendaient à des résistances de la part d'Einstein, mais ils espéraient bien le convaincre. L'entreprise se révéla beaucoup plus difficile que prévu et ils en furent un peu déçus. Einstein fit plusieurs objections qui les obligèrent à affermir leurs raisonnements. La légende veut que les arguments qu'Einstein présentait le soir au dîner à l'encontre de la nouvelle théorie étaient démolis dès le lendemain matin au petit déjeuner par Bohr qui avait passé la nuit à réfléchir.

Paul Ehrenfest, entre Einstein et Bohr

Un homme joua un rôle important dans cet affrontement théorique : Paul Ehrenfest, un physicien autrichien travaillant en Hollande, ami d'Einstein depuis qu'ils s'étaient rencontrés à Prague en 1911. Bien que de la même génération qu'Einstein, Ehrenfest était sensible aux arguments de Bohr et servit souvent d'intermédiaire, en particulier au congrès Solvay de 1927, entre Einstein et ses

Pour amuser ses collègues, le physicien Max Delbrück écrivit et fit jouer, en 1932, un pastiche du *Faust* de Goethe : George Gamow (le père de *Monsieur Tompkins*, mais aussi de la radioactivité α) réalisa les dessins figurant dans le programme.

jeunes collègues.

Ceux-ci comprenaient d'autant moins l'attitude réticente d'Einstein qu'ils avaient l'impression d'être vis-à-vis de lui dans la même position que celle dans laquelle il s'était trouvé en 1905, face aux adversaires de ses nouvelles théories. Bohr, parlant de cette époque écrit : « Je me souviens qu'au plus fort des discussions, Ehrenfest, de la manière gentiment provocante qui lui était propre, remarqua qu'il existait apparemment une certaine similitude entre l'attitude d'Einstein et celle des opposants à la théorie de la relativité, ajoutant immédiatement qu'il ne saurait, quant à lui, trouver la paix intellectuelle tant qu'Einstein et lui ne seraient pas parvenus à un accord. »

Ehrenfest ne devait jamais trouver cette « paix intellectuelle ». Tourmenté par les drames de sa vie familiale, effrayé par l'arrivée des nazis au pouvoir en Allemagne, il se suicida en 1933 en partie parce que l'avènement de la théorie quantique lui avait enlevé toute certitude.

Niels Bohr et Albert Einstein, photographiés par Ehrenfest en 1927, lors du congrès Solvay. Einstein a entretenu avec quelques hommes élus, souvent des physiciens, des relations amicales d'une fidélité sans faille. Son amitié avec Bohr a visiblement beaucoup compté pour lui, et ce fut réciproque. Cette amitié n'empêcha pas les deux hommes de se livrer à des joutes intellectuelles restées célèbres.

Paul Ehrenfest, ami de Bohr et d'Einstein, lui-même physicien de talent, ayant participé de façon significative à l'élaboration de la théorie quantique, joua un rôle essentiel dans la controverse qui opposa ses deux amis.

« Dieu ne joue pas aux dés »

Les objections qu'Einstein a répétées pendant vingt ans tournaient toutes autour de la question du caractère probabiliste de la théorie quantique. Selon cette théorie, un électron – par exemple – emprunte une infinité de chemins à la fois ; il est comme l'on dit « délocalisé ». Cela veut dire que, si l'on effectue une mesure de sa position à un instant donné, on ne trouvera pas un résultat unique, comme ce serait le cas si l'électron était une bille – ou une planète. Aussi la théorie prévoit-elle que la position d'un électron ne peut être définie que de façon probabiliste : tout ce que l'on peut dire c'est que l'électron a une probabilité de tant de se trouver en tel endroit à tel instant. Qu'il faille renoncer à vouloir prédire avec certitude la position d'un électron, qu'il faille se

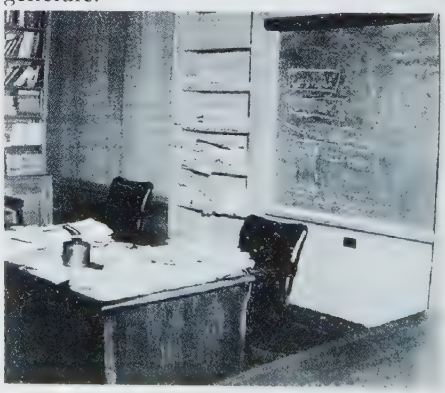
contenter à ce sujet de probabilités, est ce qu'Einstein n'arrivait pas à admettre. « Dieu ne joue pas aux dés », avait-il coutume de dire.

La quête de l'unité

Toutes les tentatives en vue d'améliorer la théorie quantique dans cette direction se révélèrent infructueuses, ce qui n'empêcha pas Einstein de maintenir jusqu'à sa mort son point de vue solitaire. En réalité, tout en reconnaissant les éclatants succès de la théorie quantique, il pensait que, fondamentalement, cette théorie ne pourrait jamais être satisfaisante et était destinée à garder un caractère provisoire et approché.

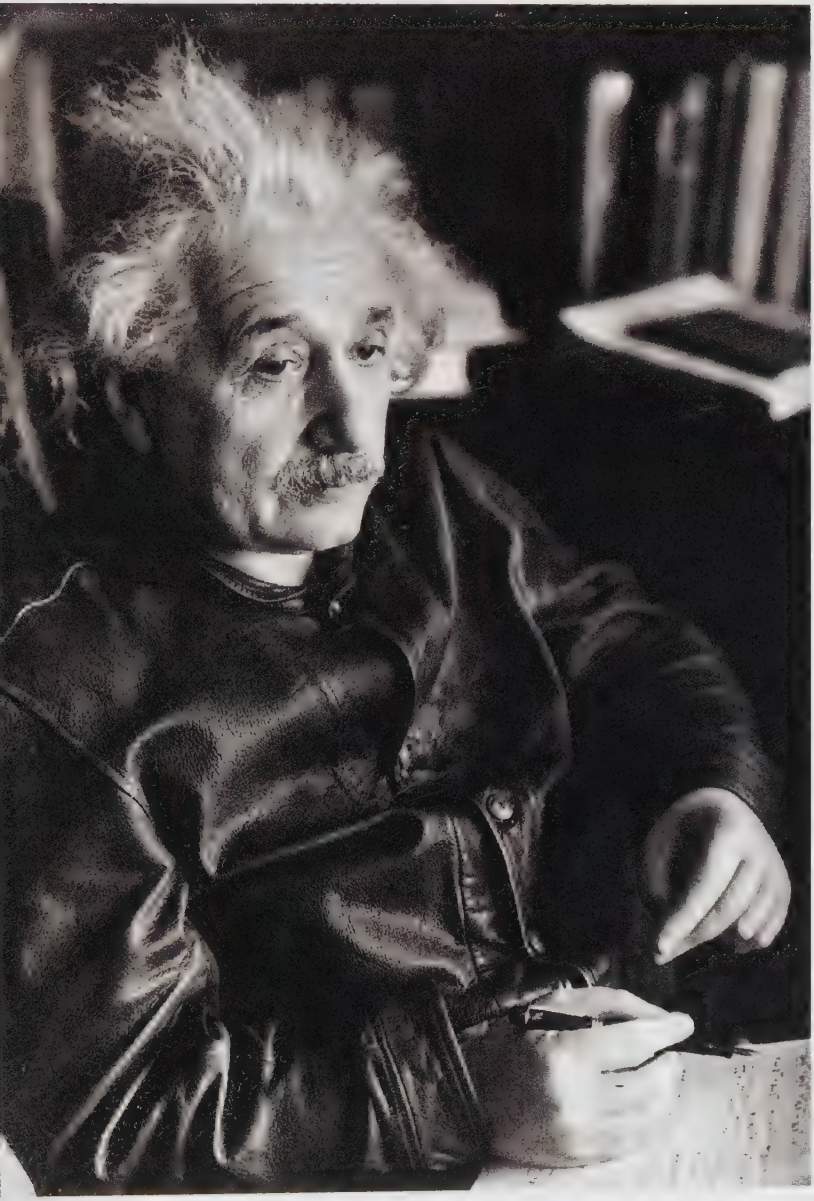
Il avait quant à lui des ambitions plus élevées : bâtir une théorie générale, une théorie unitaire, qui décrive en un seul système d'équations les propriétés à la fois de la lumière, de la matière et de la gravitation. Il lui semblait qu'une telle théorie devait être construite sur le modèle de ses deux théories de la relativité, restreinte et générale, c'est-à-dire en posant à la base des principes ; le comportement des électrons, que la théorie quantique décrivait si mal selon lui, en découlerait alors nécessairement. Il espérait même déduire l'existence des particules d'une prolongation de la relativité générale.

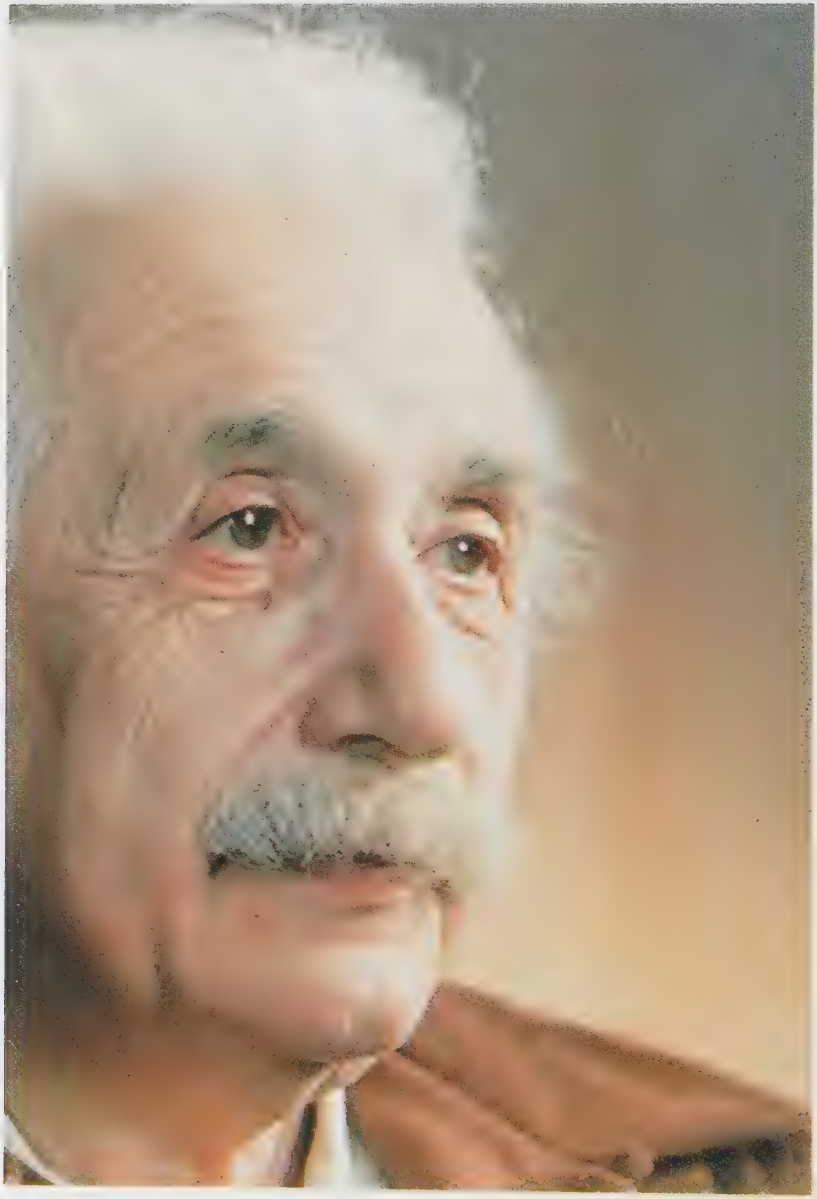
Pendant vingt ans, avec une patience infinie, sans se laisser abattre par ses échecs, mais sans non plus entretenir d'illusions excessives, Einstein travailla à l'élaboration de cette théorie unitaire. « Vous vous imaginez, écrit-il, que je regarde l'œuvre de ma vie avec une calme satisfaction. Mais vu de près, il n'en est rien. Il n'y a pas un seul concept dont je sois convaincu qu'il résistera, et je me demande même si je suis sur la bonne voie. Mais les contemporains voient en moi à la fois un hérétique et un réactionnaire qui s'est, pour ainsi dire, survécu à lui-même. »



« Cher Schrödinger, tu es le seul parmi les physiciens contemporains à voir que l'on ne peut pas contourner l'hypothèse de réalité – pour peu que l'on soit honnête. La plupart des physiciens ne voient pas qu'ils sont en train de jouer de façon dangereuse avec la réalité – la réalité vue comme quelque chose d'indépendant de toute observation. Ils croient, de façon arbitraire, que la théorie quantique fournit une description de la réalité, et même une description complète. Il est assez pénible de constater que nous sommes encore dans les langes. Rien d'étonnant à ce que les gens se refusent à l'admettre (même pour eux-mêmes). »

Lettre du 22 décembre 1950





« Aujourd'hui, les scientifiques décrivent l'Univers à l'aide de deux théories fondamentales : la théorie de la relativité générale et la mécanique quantique – les deux grands exploits intellectuels de cette première moitié du siècle. Malheureusement ces deux théories sont incompatibles. Une grande part des efforts des physiciens actuels porte sur la recherche d'une théorie qui inclurait à la fois la gravitation et la théorie quantique. »

Stephen Hawking, *Une brève histoire du temps*

CHAPITRE VII
L'HÉRITAGE D'EINSTEIN

La détection des ondes gravitationnelles, prédites par Einstein comme conséquence de sa théorie de la relativité générale, fait aujourd'hui l'objet d'un projet spatial européen dont l'exécution est prévue pour 1998.

Tout au long de sa vie, Einstein a été un homme seul : à Berne, lorsqu'il avait vingt-cinq ans et que le soir, après avoir accompli son travail d'expert au Bureau des brevets, il reconstruisait tout seul la physique sur des bases nouvelles ; à Berlin, pendant qu'il travaillait avec acharnement à l'élaboration de la théorie de la relativité générale qui lui résistait plus qu'il n'avait cru au départ ; à Princeton, où, à l'instar de Pénélope, cent fois il remettait son travail sur le métier, cherchant sans y parvenir à transformer la théorie de la relativité générale en une théorie unitaire de toutes les forces de la nature, pendant que les jeunes gens autour de lui s'affairaient à développer la mécanique quantique, dont il était le père, mais qui avait pris un tour qui lui déplaisait profondément.

Einstein n'a ainsi jamais appartenu à une équipe de recherche. A cet égard, il est vraiment d'un autre âge, puisque aujourd'hui la recherche scientifique ne se conçoit qu'organisée au sein de laboratoires et d'équipes subventionnées par l'Etat ou l'industrie. Déjà à son époque, c'était un « dinosaure » car le mode de travail collectif qu'est devenue la recherche scientifique s'est instauré dans l'entre-deux-guerres. Les premiers grands laboratoires furent fondés en Allemagne, en Angleterre, en France, puis aux Etats-Unis à l'époque où Einstein devenait un savant mondialement connu.

La comparaison avec l'autre très grand physicien de cette première moitié du XXe siècle, Niels Bohr, est tout à fait

Berlin, à l'époque où Einstein y vécut, était le centre non seulement du monde scientifique mais également de la vie artistique, les deux n'étant pas toujours sans liens comme en témoigne l'érection à Potsdam en 1920-1921 de la tour du laboratoire d'astrophysique d'Einstein.

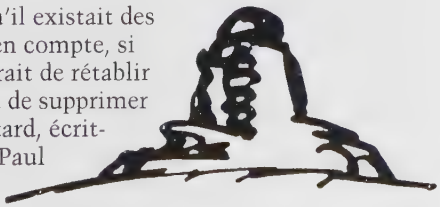
frappante. Très tôt, alors qu'il avait à peine trente ans, Niels Bohr s'est efforcé de créer une école, dite de Copenhague, en se donnant les moyens financiers et institutionnels d'accueillir dans son institut des jeunes chercheurs venus du monde entier, avec lesquels il poursuivait jusque tard dans la nuit des discussions dont la passion était loin d'être exclue. Einstein au contraire n'a pas eu de « véritables élèves » ; tout au plus s'est-il assuré à certaines époques de sa vie la collaboration de mathématiciens : Marcel Grossmann, tout d'abord, puis, à Princeton, toute une kyrielle de jeunes collaborateurs qu'il utilisait plus qu'il ne les formait.

L'architecte de la « tour Einstein », Erich Mendelsohn (1887-1953), appartenait au Novembergruppe, mouvement « dynamique », à visées socialistes, fortement inspiré par les résultats de la physique du début du siècle. Cet extrait de *Dynamique et fonction*, qu'il rédigea en 1923, éclaire l'idéologie qui l'animait : « Depuis que l'on sait que les notions de matière et d'énergie, jusqu'ici séparées par la science, ne sont que des états différents d'une même matière primordiale, que rien ne se produit dans l'univers sans relation avec le cosmos, sans rapport avec le tout, l'ingénieur abandonne la théorie mécaniciste d'une matière morte et se remet au service de la nature [...]. N'oubliez pas que la création individuelle [...] est liée à la relativité de la réalité tout autant que le présent et l'avenir le sont à la relativité de l'histoire. »

La postérité d'Einstein en mécanique quantique

Einstein est aussi le dernier des physiciens classiques en ce sens qu'il n'a jamais vraiment accepté l'interprétation probabiliste de la théorie quantique. Que le résultat d'une expérience ne soit pas unique et ne puisse être prédit avec une certitude de 100 %, mais seulement avec une certaine probabilité, est une chose qu'Einstein a toujours refusée.

Aussi ne cessa-t-il de répéter jusqu'à la fin de sa vie que la mécanique quantique, loin d'être la théorie achevée que ses promoteurs imaginaient, était en fait incomplète, qu'il lui manquait quelque chose qui la rende déterministe et non probabiliste. Plus précisément, Einstein soutenait qu'il existait des « variables cachées » dont la prise en compte, si un jour on les découvrait, permettrait de rétablir l'unicité du résultat des mesures et de supprimer le recours aux probabilités. « Plus tard, écrit-il à Tatiana Ehrenfest, la veuve de Paul Ehrenfest, s'imposera une théorie



qui évitera le caractère statistique mais qui devra introduire dans la théorie un nombre plus important de grandeurs. »

La non-séparabilité

En 1935, alors qu'il était exilé à Princeton depuis deux ans, il écrivit, en collaboration avec deux autres physiciens, un célèbre et court article dans lequel il exposait le « paradoxe EPR » – des initiales des trois signataires : Einstein, Podolsky et Rosen. Einstein montrait que, si l'on en croit la théorie quantique telle qu'elle avait été développée par d'autres que lui, deux objets A et B ayant interagi à un moment de leur histoire, mais

n'interagissant plus depuis longtemps, sont corrélés, on veut dire par là que le résultat d'une mesure effectuée sur A ne doit pas être le même selon qu'on effectue la mesure directement ou après avoir d'abord fait une mesure sur B. Ce résultat est en contradiction avec le bon sens le plus élémentaire.

Aussi Einstein concluait en énonçant l'alternative suivante : ou bien la mécanique quantique est fausse – du moins incomplète – et alors il faut la compléter de manière à rétablir le bon sens ; ou bien elle est vraie et alors il faut admettre que deux objets ayant interagi ne sont jamais totalement séparés, même lorsqu'ils sont à des kilomètres l'un de l'autre. Inutile de dire qu'Einstein optait pour la première solution.

Il se trompait. Mais il avait mis le doigt sur une caractéristique essentielle de la physique quantique. On a en effet démontré depuis – à la fois théoriquement et expérimentalement – que la mécanique quantique n'est ni fausse ni incomplète. Il ne reste alors plus qu'une seule possibilité : deux objets ayant interagi ne sont jamais totalement séparés ; que cela nous choque ne change rien à l'affaire.

Il est probable que si Einstein n'avait pas soulevé le lièvre de cette « non-séparabilité », celle-ci aurait tardé à se faire sentir. Or la non-séparabilité est l'une des caractéristiques les plus étonnantes de la théorie quantique : c'est le statut même des choses qui est ainsi remis en question ; nous sommes tellement habitués, dans le monde macroscopique qui est

Monsieur Tompkins et ses compagnons, partis en expédition au cœur de la jungle quantique, sont assaillis par une meute de tigres. Sir Richard vise entre les yeux du tigre le plus proche et le rate. « Ne cherchez pas à viser juste », lui conseille le Professeur qui a étudié la théorie quantique, « il n'y a qu'un tigre mais il est diffusé autour de notre éléphant ». Tel ce tigre sorti de l'imagination de George Gamow, qui est partout à la fois et semble une meute, un électron, n'est en général pas localisé ; il se trouve à la fois ici et là. La propriété de « non-séparabilité », révélée par le paradoxe EPR, est encore plus étonnante : des particules ayant interagi sont « inséparables » en ce sens que le résultat d'une mesure effectuée sur l'une dépend du résultat de la mesure effectuée sur l'autre, même lorsqu'elles sont séparées par de grandes distances. Cet étrange comportement a été vérifié par Alain Aspect au début des années quatre-vingt grâce à une expérience portant sur des grains de lumière (les photons) dont la mise au point a exigé des mois de patience et n'a été rendue possible que par la précision des détecteurs actuels.

le nôtre, à penser les choses comme séparées les unes des autres que nous avons du mal à imaginer que cela puisse ne pas être aussi vrai au niveau microscopique. L'héritage d'Einstein dans le domaine de la physique quantique est donc en grande partie fait de questions ouvertes, de problèmes soulevés, auxquels il a contraint ses successeurs à réfléchir, les obligeant à aller plus loin dans la découverte du caractère « absurde » du monde quantique.

« Une théorie que seules trois personnes sont capables de comprendre »

L'enfant chéri d'Einstein était sa théorie de la relativité générale, celle qui lui avait coûté tant d'efforts, celle qu'il tenta pendant trente ans de généraliser encore plus. Pourtant, si tout le monde s'accordait pour y voir la plus belle théorie jamais inventée par l'homme, la théorie de la relativité n'était pratiquée que par un très petit nombre de physiciens. La rumeur publique disait que les calculs en étaient si difficiles que seuls trois physiciens au monde étaient capables de la comprendre. La légende veut même qu'Eddington – celui qui mena à bien l'expédition destinée à vérifier une des conséquences de la théorie –, à qui on rapportait ce propos, ait répondu : « Je me demande bien qui est le troisième. »

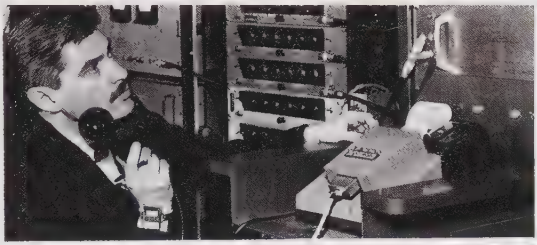
Pendant longtemps, la relativité générale est restée un magnifique objet théorique dont les conséquences, situées à l'échelle du cosmos, semblaient ne jamais pouvoir être observables.

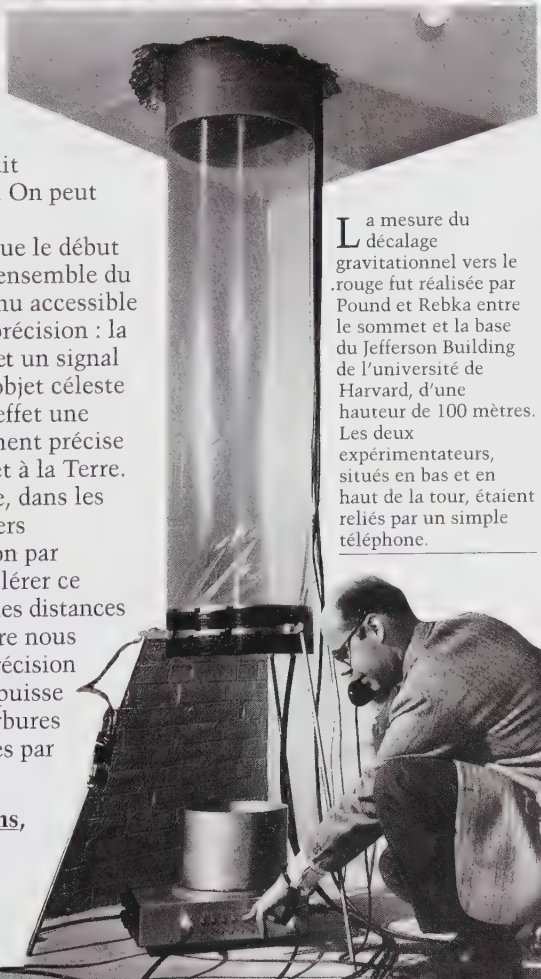
1959-1960 : l'année de la renaissance

Tout changea brutalement entre septembre 1959 et septembre 1960. Le 14 septembre 1959, la planète Vénus passa au point de son orbite le plus proche de la Terre et les chercheurs du Massachusetts Institute

Longtemps, la théorie de la relativité a passé pour incompréhensible, sauf à son auteur et à quelques *happy few*. Aujourd'hui, elle est couramment enseignée en fin d'études; pourtant c'est bien de la même théorie qu'il s'agit. De fait, c'est la manière dont les physiciens la perçoivent qui a changé. Dans les années cinquante, la relativité générale était considérée comme relevant des mathématiques et non de la physique, laquelle s'occupait de problèmes pratiques : construire des postes de radio, produire de l'énergie nucléaire... Einstein lui-même était souvent qualifié de mathématicien, et c'est en tant que tel que *Paris-Match*, par exemple, annonça sa mort en 1955.

of Technology à Boston envoyèrent pour la première fois un signal radar en direction de Vénus dont ils recueillirent l'écho à son retour sur Terre. Bien que sur le moment cette expérience ait paru n'avoir rien donné, il s'avéra quelques mois plus tard que cet échec apparent n'était dû qu'à une simple erreur de calcul, qui ne remettait pas en cause la méthode. On peut malgré tout dire que le 14 septembre 1959 marque le début d'une ère nouvelle, où l'ensemble du système solaire est devenu accessible à des mesures de haute précision : la mesure du temps que met un signal radar pour atteindre un objet céleste et en revenir permet en effet une détermination extrêmement précise de la distance de cet objet à la Terre. Le développement rapide, dans les années soixante, des divers programmes d'exploration par satellites n'a fait qu'accélérer ce processus et aujourd'hui les distances au sein du système solaire nous sont connues avec une précision suffisante pour que l'on puisse mesurer les infimes courbures de l'espace-temps prévues par la relativité générale.





La mesure du décalage gravitationnel vers le rouge fut réalisée par Pound et Rebka entre le sommet et la base du Jefferson Building de l'université de Harvard, d'une hauteur de 100 mètres. Les deux expérimentateurs, situés en bas et en haut de la tour, étaient reliés par un simple téléphone.

De nouvelles observations, de nouvelles théories

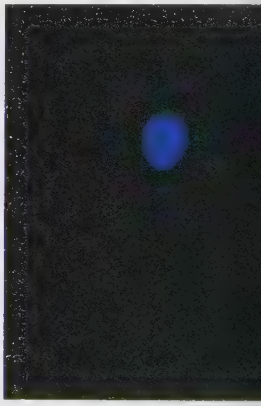
Deuxième événement marquant de cette année 1959-1960 : la mesure

par deux chercheurs américains, Pound et Rebka, d'un autre de ces effets infimes prévus par la théorie d'Einstein, le décalage gravitationnel vers le rouge; autrement dit la lumière en tombant devient plus rouge. La mesure, réalisée entre le haut et le bas d'une tour – l'effet était donc très petit –, ne fut possible que parce que l'on disposait déjà à l'époque de détecteurs ultra-sensibles, chefs-d'œuvre de cette technologie issue de la théorie quantique qui s'est considérablement développée dans les années cinquante et soixante et a explosé depuis avec la fabrication des lasers et l'utilisation routinière des semi-conducteurs.

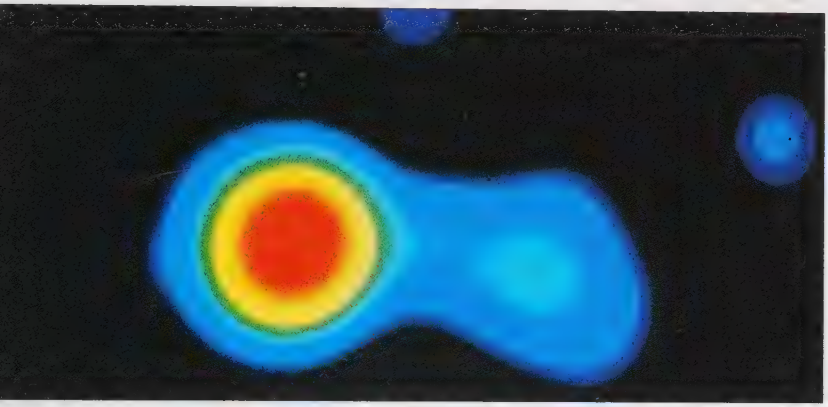
Un troisième événement se produisit durant l'été 1960 : un jeune chercheur anglais, Roger Penrose, publia un article théorique dans lequel il exposait de nouvelles techniques de calcul s'appliquant au domaine de la relativité générale, beaucoup plus efficaces et plus simples que les techniques utilisées jusqu'alors, extrêmement lourdes du point de vue mathématique. Penrose a fait école et aujourd'hui tout le monde connaît le nom de l'un de ces théoriciens nouveau style : Stephen Hawking. Ces jeunes physiciens s'attachèrent dans les années qui suivirent à repérer de nouveaux effets « relativistes » observables.

A la fin du même été, deux chercheurs américains, Brans et Dicke, proposèrent une théorie destinée à remplacer la relativité générale. Bien que la nouvelle théorie ne se soit finalement pas montrée supérieure à l'ancienne, son annonce stimula considérablement les relativistes qui furent obligés de préciser leurs résultats face à ceux d'une théorie concurrente.

Enfin, 1960 est l'année où l'on commença à découvrir dans le ciel de nouveaux objets dont l'explication ne pouvait pas ne pas faire intervenir la relativité générale. Des astronomes, utilisant le grand télescope du mont Palomar en Californie, découvrirent par une belle nuit d'été une nouvelle étoile, là où ils s'attendaient à observer une luminosité diffuse. Comme cette étoile présentait une luminosité très rapidement variable et comme elle émettait principalement des ondes radio, on la baptisa *quasi stellar radio source*, soit « quasar » par contraction.



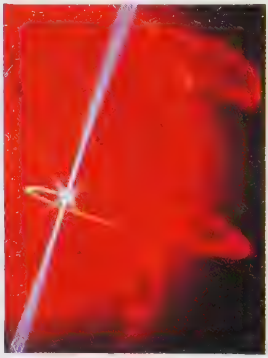
La renaissance de la relativité générale en 1960 marque aussi la naissance d'une nouvelle discipline : l'astrophysique relativiste, dont le premier congrès eut lieu à Dallas en décembre 1963. Rassemblant des personnes qui ne se disaient pas encore astrophysiciens relativistes mais se définissaient comme des mathématiciens, des astronomes ou des physiciens, il fut l'occasion de quiproquos cocasses car tous ces gens, réunis dans le but précis de comprendre l'origine des quasars (ci-dessus), n'avaient pas encore de langage commun.



Le réveil des relativistes

On s'aperçut très vite que les quasars s'éloignent de nous à une vitesse fantastique, en sorte que nous ne devrions pas les voir comme des objets brillants. Le mystère de l'origine des quasars vint réveiller les relativistes de leur sommeil théorique et ils se mirent à imaginer diverses explications possibles de leur origine. Les années suivantes, d'autres objets et phénomènes étranges furent découverts : les pulsars, le fond de rayonnement cosmique, les systèmes contenant probablement des trous noirs. Aujourd'hui, la relativité générale possède un domaine d'observation immense.

Roger Penrose (ci-dessous) est avant tout un mathématicien. Très jeune, il a découvert, avec son père, une manière inédite de «paver un plan». Cette découverte purement mathématique s'est révélée avoir des applications dans la réalité puisque certains corps appelés «quasi-cristaux» sont construits sur ce modèle. Mais c'est essentiellement dans le domaine de la relativité, et en particulier l'étude des trous noirs, qu'il s'est illustré en compagnie de son compatriote Stephen Hawking. Il est l'inventeur du mécanisme dit d'évaporation des trous noirs.



Les pulsars, véritables radiophares de l'espace, sont des étoiles en fin de vie. C'est en 1974 que Hulse et Taylor, les futurs titulaires du prix Nobel 1993, découvrirent le premier pulsar binaire, appelé PSR 1913+16.

Cette deuxième naissance de la relativité générale résulte de la mise en œuvre à la fois de nouveaux outils théoriques et de nouveaux moyens techniques – au premier rang desquels il faut citer les ordinateurs, qui offrent des possibilités jusqu'alors inconnues pour analyser les images observées. Aujourd'hui, le domaine de la relativité générale est en pleine expansion. Cette théorie est désormais enseignée aux étudiants de physique en fin d'études.

Les ondes gravitationnelles sont identifiées grâce aux pulsars binaires

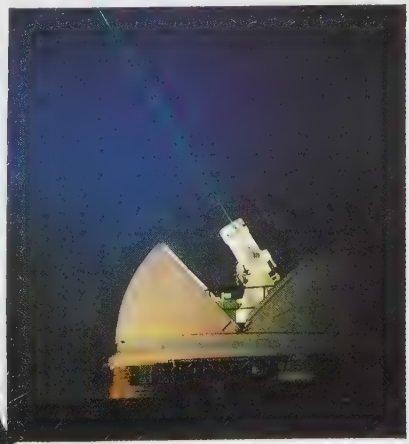
La recherche d'ondes gravitationnelles, prédites par Einstein en 1916, est certainement l'un des thèmes les plus passionnants à l'heure actuelle. Einstein a montré qu'un système de masses qui évolue au cours du temps peut rayonner de l'énergie sous forme d'ondes dites « gravitationnelles » se propageant à la vitesse de la lumière. Evidemment, cette énergie rayonnée est très faible et donc très difficile à détecter. Vers 1958, un astronome, Joseph Weber, entreprit de construire une antenne géante destinée à recueillir cette émission d'ondes gravitationnelles. Entre 1968 et 1975, il prétendit avoir détecté plusieurs fois un signal, sans vraiment réussir à convaincre ses collègues.

En 1974, la découverte quasi fortuite d'un « pulsar binaire » devait révolutionner la détection des ondes gravitationnelles. Un pulsar binaire est un système formé de deux étoiles – d'où l'adjectif « binaire » - très proches

l'une de l'autre, en rotation l'une autour de l'autre, et émettant de la lumière à intervalles réguliers (d'où le nom de pulsar). Cet objet qui évolue manifestement au cours du temps doit, selon la théorie d'Einstein, émettre des ondes gravitationnelles. Aussi commença-t-on dès 1974 à chercher. Personne ne s'attendait à ce que leur détection soit aussi rapide : en 1979, lors d'un des multiples colloques tenus à l'occasion du centenaire de la naissance d'Einstein, une équipe de chercheurs américains annonça des résultats d'observations effectuées sur le pulsar binaire fort convaincants. Les ondes gravitationnelles, objets un peu mythiques jusqu'alors, existaient donc bel et bien.

Depuis, leur détection fait l'objet de projets coûteux nécessitant des collaborations internationales ; ainsi le projet franco-italien Virgo, qui comprend trois détecteurs destinés à mesurer les ondes

Les diverses mesures effectuées sur le pulsar binaire PSR 1913+16 , dont la période orbitale n'est que de huit heures, sont exceptionnellement précises. Or les effets des ondes gravitationnelles, qui sont très faibles par nature, ne peuvent être observés qu'au terme de mesures très fines. La découverte de PSR 1913+16 n'aurait pas valu à Hulse et Taylor le prix Nobel s'ils n'avaient montré que les modifications de son orbite coïncident à 0,5 % près avec les résultats théoriques obtenus en tenant compte de la perte d'énergie due à l'émission d'ondes gravitationnelles – preuve indirecte de l'existence de telles ondes.



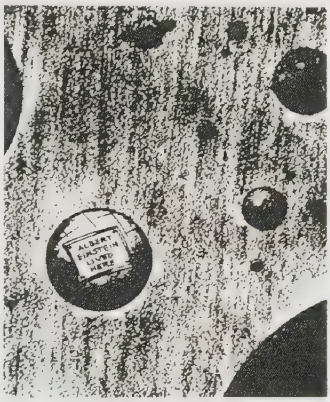
gravitationnelles émises par l'amas de galaxies de la Vierge.

A la recherche des trous noirs

Autres objets dont l'existence est prévue par la théorie d'Einstein et faisant désormais partie de la panoplie des films de science-fiction : les trous noirs. De fait, ces objets n'ont pas encore été observés. Un trou noir correspond à une concentration de masse extrêmement forte : un trou noir ayant la masse du Soleil aurait un diamètre de 3 kilomètres. On se souvient qu'une masse déforme l'espace-temps autour d'elle comme le ferait une orange posée sur une toile tendue. La déformation de l'espace-temps induite par l'énorme concentration de masse que représente le trou noir est si forte que tout objet qui s'en approche est immédiatement happé et tombe dans le trou sans pouvoir jamais en ressortir. La lumière ne fait pas exception : elle ne peut pas sortir du trou, qui de ce fait est « noir ».

Les trous noirs ont énormément contribué au renouveau de la relativité générale dans la mesure où

au moment de la découverte des quasars, l'une des hypothèses les plus en vue associait la présence d'un quasar à l'existence d'un trou noir. S'il est vrai que les trous noirs ont donné lieu à de nombreux travaux théoriques, leur observation se fait toujours attendre : on crut bien à un moment, dans les années soixante-dix, avoir détecté un trou noir au centre d'une source de rayonnement X ; mais il n'est pas prouvé que les données observées ne puissent être expliquées que par la présence d'un trou noir.

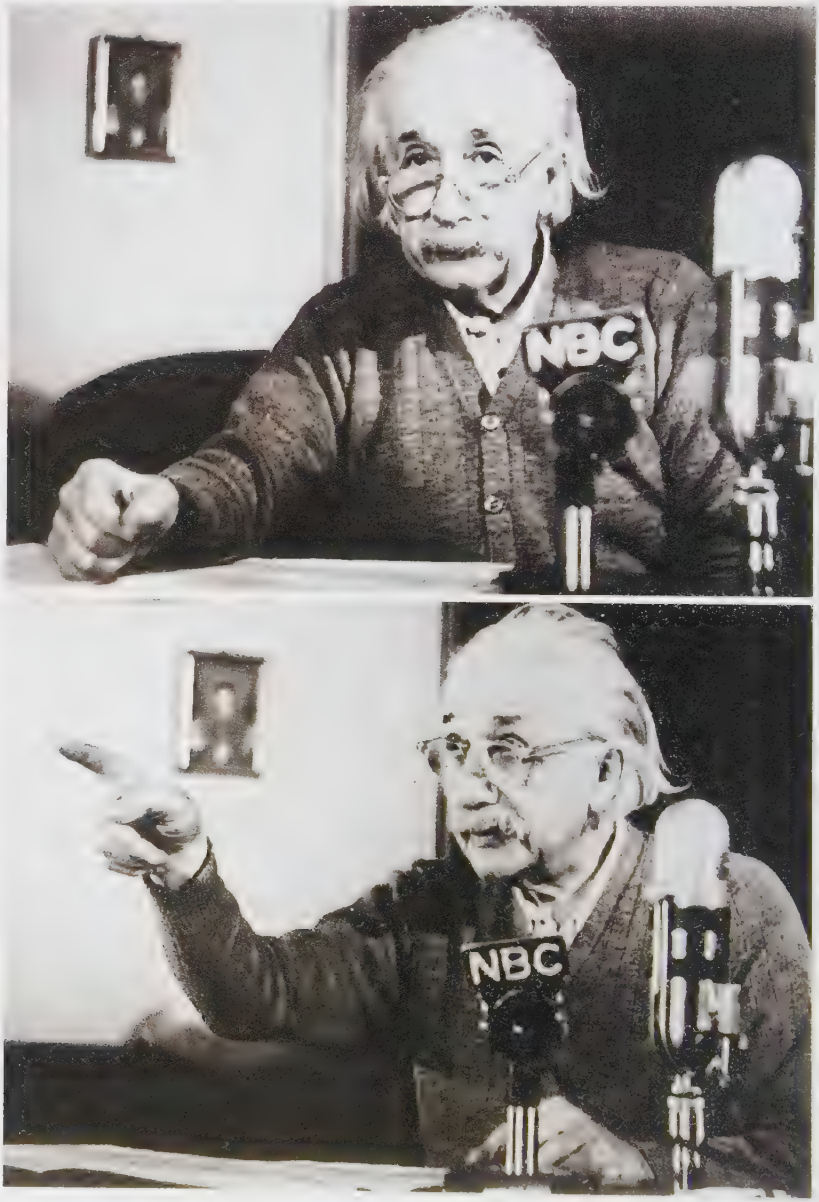


L'impossible union de la théorie quantique et de la relativité générale

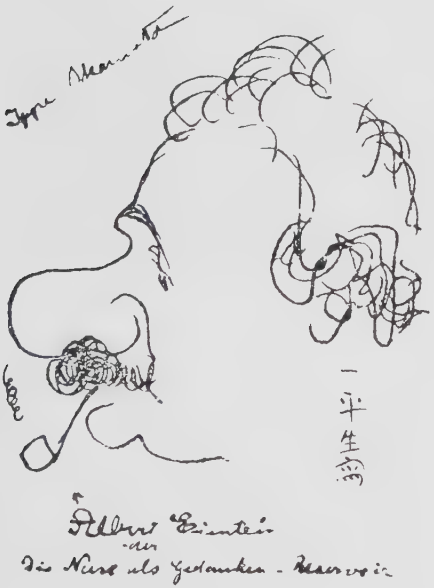
Einstein nous a laissé en héritage deux théories : la théorie quantique, dont il est le père même s'il a renié l'enfant devenu grand, et la relativité générale, qui a toujours eu sa préférence. Or, l'un des problèmes majeurs qui se posent aux physiciens aujourd'hui est de rendre ces deux théories compatibles. C'est sur la question de la structure de l'espace-temps que les deux théories diffèrent : alors que l'espace-temps de la théorie quantique est passif, une sorte de «théâtre» des particules, l'espace-temps de la relativité générale est produit par ces mêmes particules et n'existe pas sans elles. Cette différence de conception rend les deux théories incompatibles.

Les physiciens sont dans l'embarras car il s'agit là de deux théories dont rien ne laisse entrevoir qu'elles puissent être invalidées : la relativité générale résiste depuis près de quatre-vingts ans à des confrontations de plus en plus poussées avec les données de l'observation ; la mécanique quantique, quant à elle, a donné lieu à des applications si nombreuses – toute notre technologie moderne est à base de théorie quantique – qu'il est difficile d'imaginer qu'elle soit fausse. L'histoire semble se répéter puisque les physiciens d'aujourd'hui se trouvent un peu dans la même situation que leurs aînés en 1905 : il leur faut concilier deux théories apparemment incompatibles. La physique attend un nouvel Einstein qui, grâce à une idée simple, résoudra cette contradiction.

Deux types de systèmes stellaires sont à l'heure actuelle des candidats sérieux au titre de trous noirs : certaines sources X – c'est-à-dire émettant dans le domaine des rayons X –, appelées sursauteurs (on dispose à l'heure actuelle de cinq candidats possibles), et d'autre part des quasars, dont l'énorme émission d'énergie serait liée à la présence d'un trou noir. Le statut observationnel des trous noirs est encore mal défini, et il est trop tôt pour «homologuer» définitivement certains des candidats retenus.


NBC
NBC

TÉMOIGNAGES ET DOCUMENTS



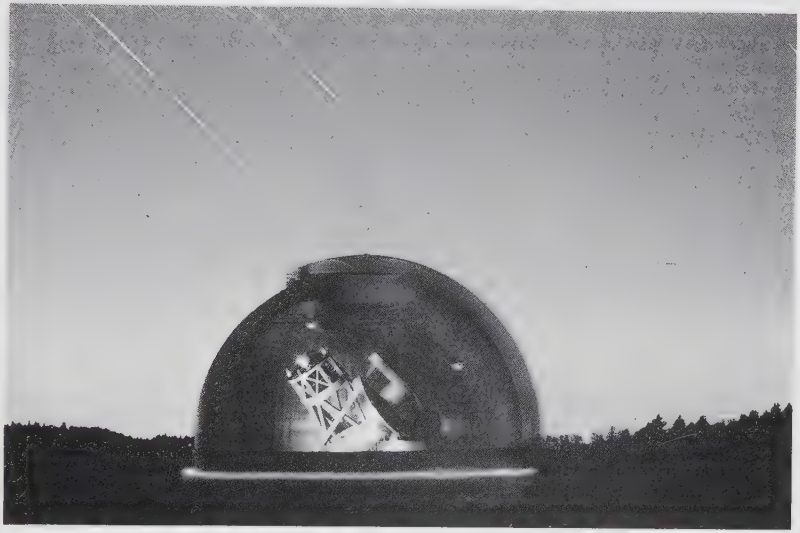
Un univers en expansion

Le problème cosmologique peut s'énoncer ainsi : trouver une description de l'univers qui soit conforme aux exigences de la relativité générale. Persuadé que l'univers ne pouvait qu'être fermé, Einstein avait ajouté à ses équations un terme qui, sans les modifier sur le fond, les rendait compatibles avec cette exigence de fermeture. Convaincu par les critiques qui lui furent alors adressées, Einstein se tut pendant neuf ans. En 1931, après avoir rencontré en Californie Edwin Hubble qui avait démontré, sur la base de ses observations, que l'univers est en expansion, il sortit de son mutisme et devint un défenseur acharné de cette théorie.

A quelques années d'intervalle, entre 1917 et 1925, un physicien de génie et un télescope gigantesque, manié par un astronome à sa mesure, apportèrent à la Philosophie de la Nature, l'un une idée, l'autre une vision de l'Univers dont on ne sait laquelle était plus surprenante et plus exaltante. La Cosmologie moderne est née de cette rencontre, dont il y a peu à dire, sinon qu'elle offre un exemple de choix à tous ceux pour qui le hasard mène les affaires humaines, même celles que la Raison est censée gouverner sans partage.

Au cœur de l'Allemagne en guerre, Einstein pensait, en 1917, être parvenu à une étape décisive sur la voie royale qu'il parcourait presque seul, depuis quinze ans. Il crut alors pouvoir dire comment devait être conçu l'Univers pour que la Physique, qu'il avait déjà transformée en cherchant à mieux la fonder, pût se présenter sans hypothèses superflues et sans contradiction. Apparemment, il ne se souciait pas beaucoup de ce qui se méditait dans les observatoires américains sur la véritable signification des apparences célestes qui, alors, n'étaient pas très favorables – pas encore – à ses spéculations.

Cependant, sur les bords du Pacifique, des astronomes scrutaient avec perplexité de faibles images où se dissimulait encore le secret des nébuleuses spirales. Ils attendaient un nouveau miroir, pour laisser libre cours à leurs pensées, comme un colonel qui attend l'artillerie pour éprouver la bravoure de ses troupes.



Rien ne les préparait à penser que la théorie de la Relativité (qu'en savaient-ils exactement alors ?) eût quelque chose à voir avec les nébuleuses. La plus vénérable tradition de l'Astronomie positive est de ne prendre en considération aucune idée (fût-elle portée par la meilleure mathématique) si elle n'est pas exactement adéquate à des apparences bien décrites et mesurées. [...] Et d'ailleurs, le climat strictement positiviste de la science américaine différait autant de l'atmosphère métaphysique d'où avait émergé la pensée d'Einstein, que le Ciel de Californie diffère de celui de la vieille capitale du Nord.

Pourtant, à l'insu de tous, les deux chemins convergeaient en un point encore lointain que nul n'avait, fût-ce très vaguement, imaginé. Lorsque se dessina le plus inattendu et le plus surprenant de ses traits, les découvreurs du «royaume des nébuleuses» hésitèrent, comme hésita Einstein devant les conséquences ultimes de sa propre révision du concept d'Univers. C'était, dans l'un et l'autre cas, la même vérité qui se dévoilait, que l'Univers n'est pas, pas même par sa géométrie, par la structure métrique sans laquelle la connaissance n'aurait aucune prise sur lui, une forme immuable, une configuration statique.

Au reste, en quelque point qu'elle se produisît, la rencontre ni attendue, ni préparée, entre l'idée révisée du monde et son image transfigurée semblait donner permission à la Raison d'exercer un droit qu'elle avait dû abdiquer pour se soumettre à l'un des commandements les plus rigoureux du catéchisme scientifique : «Tu ne parleras pas du Tout» – celui de légiférer sur l'Univers, d'en dessiner *a priori* la figure, d'en reconstruire l'édifice, au-delà du visible, à partir de ses éléments dûment pensés et mesurés.

Jacques Merleau-Ponty,
Cosmologie du XXe siècle,
Gallimard, 1965

Einstein vu par Louis de Broglie

Louis de Broglie, physicien français (1892-1987), est l'un des pères fondateurs de la théorie quantique. La publication de sa thèse – encouragée par Einstein, qui écrivit à son propos à Langevin : « Il a soulevé un coin du grand voile » – constitue l'un des moments cruciaux de l'histoire de cette théorie. De Broglie, timide et réservé de nature, assistait au congrès Solvay de 1927 et évoque ici ses souvenirs.

A la fin d'octobre 1927, eut lieu, à Bruxelles, le cinquième Conseil de physique Solvay consacré à la mécanique ondulatoire et à son interprétation. J'y fis un exposé de ma tentative, mais, pour diverses raisons, je le fis sous une forme un peu tronquée en insistant principalement sur l'image hydrodynamique. Mon rapport ne fut guère goûté : groupés autour de MM. Bohr et Born, le groupe très actif des jeunes théoriciens qui comprenait MM. Pauli, Heisenberg et Dirac étaient entièrement acquis à l'interprétation purement probabiliste dont ils étaient les auteurs. Quelques voix s'élevaient cependant pour combattre ces idées nouvelles. H. A. Lorentz affirmait sa conviction qu'il fallait conserver le déterminisme des phénomènes et leur interprétation par des images précises dans le cadre de l'espace et du temps, mais son intervention très remarquable n'apportait aucun élément constructif. M. Schrödinger préconisait l'abandon complet de la notion de corpuscule pour ne conserver que celle d'ondes régulières du type classique, mais j'étais convaincu qu'une telle tentative ne pouvait aboutir.

Qu'allait dire Einstein dans ce débat dont pouvait sortir la solution du redoutable problème qui l'avait tant préoccupé depuis sa géniale intuition sur les quanta de lumière ? A mon grand désappointement, il ne dit presque rien. Une seule fois, il prit la parole pendant quelques minutes : rejetant l'interprétation probabiliste, il fit en termes très simples une objection qui, je le crois, a conservé un grand poids. Puis il retomba dans son mutisme. Dans des conversations privées, il m'encourageait dans mes tentatives, sans cependant se prononcer sur la théorie de la double solution qu'il ne semblait pas avoir étudiée de près. Il affirmait que la

physique quantique s'engageait dans une mauvaise voie et, en face de cette évolution, il semblait découragé. Un jour, il me dit : «Ces problèmes de physique quantique deviennent trop complexes. Je ne peux plus me mettre à étudier des questions aussi difficiles : je suis trop vieux !» Phrase bien étrange dans la bouche de ce savant illustre qui n'avait alors que 48 ans et dont la pensée audacieuse ne passait pas pour se laisser aisément décourager par la difficulté des problèmes !

Communication à la séance annuelle
des prix du 5 décembre 1955
de l'Académie des sciences

Trois destins de physiciennes

«On a encore oublié madame Einstein !», titrait Libération *lorsqu'on s'avisa que la première femme d'Einstein ne s'était pas contenté de repriser les chaussettes. S'appuyant sur un passage de la correspondance échangée par Einstein et Mileva où il est question de «notre travail sur la relativité», certains ont cru pouvoir se donner des airs de défenseurs des droits de la femme en chargeant Einstein de toutes les turpitudes d'un machisme à la hauteur de son génie. Einstein aurait en effet volé à Mileva la théorie de la relativité; et le fait qu'il lui ait donné l'argent du prix Nobel serait la preuve de sa culpabilité.*

En haut, Einstein et sa première femme Mileva. En bas à droite, Marie Curie.

La réalité est probablement plus banale, et peut-être plus douloureuse. Einstein a laissé sa femme résoudre seule leurs problèmes familiaux – naissance d'une petite fille hors des liens du mariage, maladie de cette enfant dont on perd la trace à partir d'un certain moment, difficultés et inquiétudes liées au caractère attachant mais étrange de leur second fils Eduard – pendant que lui se réfugiait dans les hauteurs de la pensée. Que de cette pensée soit née l'une des théories les plus belles qui soient ne constitue en rien une excuse. Force est de constater qu'Einstein qui, dans sa jeunesse n'avait pas de mots assez durs pour fustiger le comportement de ceux qu'il appelait des «pharisiens», et se félicitait en fanfaronnant auprès de sa belle de n'être pas de ceux-là, s'est de fait conduit en pharisien ordinaire, se satisfaisant parfaitement d'une division des rôles «toute naturelle».

Tout différent est le destin de cet autre couple célèbre de physiciens : Marie et Pierre Curie, et surtout toute différente est l'attitude de Pierre Curie confronté à une situation analogue. Comme Mileva Marić, Marie Curie, née Maria Sklodowska, venait de loin. Cette étrangeté est probablement ce qui lui donna la force d'affronter la condescendance pour ne pas dire l'hostilité de ses camarades d'études à la

Sorbonne. Comme Mileva Marić, elle connut et épousa un physicien, lequel comme Einstein avait dans sa jeunesse rêvé de se conduire d'une façon conforme à un idéal élevé : «Ce serait cependant une belle chose à laquelle je n'ose croire, que de passer la vie l'un près de l'autre, hypnotisés dans nos rêves : votre rêve patriotique, notre rêve humanitaire et notre rêve scientifique. [...] Le plus pénible ce sont les concessions qu'il faut faire aux préjugés de la société qui nous entoure.»

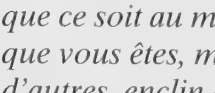
La comparaison entre ces deux destins de femmes s'arrête là. Marie Curie, solidement épaulée par Pierre qui ne manqua jamais une occasion de la mettre en avant, précisément parce que la reconnaissance de ses mérites n'allait pas de soi, eut la carrière que l'on sait : deux fois prix Nobel, dont une fois à 36 ans. Le physicien anglais J. J. Thomson, que le couple rencontra à Cambridge, décrit Pierre Curie comme «l'homme le plus modeste qui soit, reportant tout le mérite sur sa femme». Il n'est pas sûr que Thomson ait trouvé ce comportement tout à fait «normal». Il est certain, en tout cas, que Poincaré, pour sa part, voyait là une forme d'incongruité pathologique. «Il s'éleva, écrit-il, jusqu'à la gloire avec la mentalité d'un chien battu.» Expression dont le biographe américain de Marie Curie s'empresse de faire le titre d'un de ses chapitres, comme pour insister sur le caractère peu viril de Pierre Curie.

Tatiana Ehrenfest, elle aussi, venait d'Europe de l'Est (de Russie) et avait épousé un physicien, Paul Ehrenfest. Paul Ehrenfest n'est pas sans présenter certaines ressemblances avec Pierre Curie : si Poincaré l'avait rencontré, il lui aurait certainement trouvé un air de chien battu. Esprit torturé, perpétuellement insatisfait, souffrant de se sentir intellectuellement inférieur aux géants qu'étaient ses amis Einstein et Bohr, bourré de scrupules au point de ne plus oser paraître devant ses étudiants parce que les bouleversements apportés par la théorie quantique avaient mis à mal ses certitudes, ce qui ne lui permettait plus d'assumer sa position de maître à penser, Ehrenfest avait réussi à établir une véritable coopération intellectuelle avec sa femme : certains des articles importants écrits par Ehrenfest dans les années 1905-1910 sont cosignés. En revanche, s'il est probable qu'Einstein n'avait aucune raison d'associer Mileva à la découverte de la relativité, il est avéré qu'il aurait pu cosigner avec elle les articles portant sur des thèmes voisins du sujet de thèse de Mileva. Comme Einstein et Mileva Marić, Tatiana et Paul Ehrenfest eurent à affronter des difficultés familiales graves : l'un de leurs enfants était mongolien et ce fardeau n'est pas étranger au suicide d'Ehrenfest en 1933. Tatiana continua à enseigner la physique après la mort de son mari.

Françoise Balibar

Einstein et Freud

Dès 1931, Einstein avait pris l'initiative d'écrire à Freud pour l'inviter à former une «communauté intellectuelle de haut niveau» ayant pour mission de peser, grâce à son influence morale, sur les décisions des hommes politiques. «Je vous expose ces choses, écrit Einstein, à vous, de préférence à qui que ce soit au monde, parce que vous êtes, moins que d'autres, enclin à prendre des désirs pour des réalités.» En 1932, Einstein revient à la charge et demande à Freud de participer, sous forme d'échange de lettres publiques, à une discussion sur la guerre sous l'égide de la Société des Nations.



«Comment est-il possible, écrit Einstein, que la masse se laisse enflammer jusqu'à la frénésie et au sacrifice par les moyens cités ? La seule réponse possible est celle-ci : il existe en l'homme un besoin de haine et de destruction. C'est là le point que seul le grand connaisseur des instincts humains peut éclairer.

»Nous en arrivons à une dernière question. Existe-t-il un moyen de diriger le développement psychique de l'homme de manière à le rendre plus résistant aux psychoses de haine et de destruction ? Je ne songe pas, en disant cela, aux seuls êtres incultes, loin de là. Mon existence de la vie me donne à penser que c'est bien plutôt la soi-disant "intelligentsia" qui succombe le plus aisément à ces funestes psychoses collectives.»

Voici des extraits de la réponse de Freud :

«En apprenant que vous aviez l'intention de m'inviter à un échange de vues sur un [tel] sujet, je n'ai pas hésité à me prêter à cet entretien. Vous m'avez surpris en me posant la question de savoir ce que l'on peut faire pour libérer les humains de la menace de la guerre. J'ai été tout d'abord effrayé de mon – j'allais dire de notre – incompétence, car je voyais là une tâche pratique dont l'apanage revenait aux hommes d'Etat. Mais je me suis rendu compte que vous n'aviez pas soulevé la question en tant qu'homme de science et physicien, mais comme ami des humains.

»Vous vous étonnez qu'il soit facile d'exciter les hommes à la guerre et vous présumez qu'ils ont en eux un principe actif, une pulsion de haine et de destruction toute prête à accueillir cette sorte d'excitation. Nous croyons à l'existence d'un tel penchant et nous nous sommes précisément efforcé, au cours de ces dernières années, d'en

Réunion de l'Institut international de coopération intellectuelle, branche de la Société des Nations. Einstein est le troisième à partir de la gauche.

étudier les manifestations. Pourrai-je à ce sujet vous exposer une partie des lois de la pulsion auxquelles nous avons abouti, après maints tâtonnements et maintes hésitations ? Nous admettons que les pulsions de l'homme se ramènent exclusivement à deux catégories : d'une part celles qui veulent conserver et unir ; nous les appelons érotiques – exactement au sens d'Eros dans *Le Banquet* de Platon – ou sexuelles, en donnant explicitement à ce terme l'extension du concept populaire de sexualité ; d'autre part, celles qui veulent détruire et tuer ; nous les englobons sous le terme de pulsion agressive et de pulsion destructrice. Ce n'est en somme, vous le voyez, que la transcription théorique de l'antagonisme universellement connu de l'amour et de la haine, qui est peut-être une forme de la polarité attraction / répulsion qui joue un rôle dans votre domaine. – Mais ne nous faites pas trop rapidement passer

aux notions de bien et de mal. – Ces pulsions sont tout aussi indispensables l'une que l'autre et il semble qu'il n'arrive guère qu'une pulsion de l'une des catégories puisse s'affirmer isolément ; elle est toujours "liée" à une certaine quantité de l'autre catégorie, qui modifie son but.

»Ainsi donc, lorsque les hommes sont incités à la guerre, toute une série de motifs peuvent en eux trouver un écho à cet appel, les uns nobles, les autres vulgaires, certains dont on parle ouvertement et d'autres que l'on tait.

»J'ai scrupule à abuser de votre attention qui entend se porter sur les moyens de prévenir la guerre et non sur nos théories. Pourtant je voudrais m'attarder encore un instant sur notre pulsion de destruction, dont la vogue n'est rien en regard de son importance. Nous sommes arrivé à concevoir que cette pulsion agit au sein de tout être vivant et qu'elle tend à le vouer à la ruine, à ramener la vie à l'état de matière inanimée. Une telle pulsion mérite réellement le nom de pulsion de mort, tandis que les pulsions érotiques représentent les efforts vers la vie. La pulsion de mort devient destructrice par le fait qu'elle s'extériorise contre certains objets. L'être animé protège pour ainsi dire sa propre existence en détruisant l'élément étranger. Mais une partie de la pulsion de mort demeure agissante au-dedans de l'être animé, et nous avons tenté de faire dériver toute une série de phénomènes normaux et pathologiques de cette réversion intérieure de la pulsion destructrice. [...]

»Voilà qui nous permet de conclure, pour revenir à notre sujet, que l'on ferait œuvre inutile à prétendre supprimer les penchants destructeurs des hommes. [...]

»Je voudrais cependant traiter encore un problème que vous ne soulevez pas

Sigmund Freud en 1931.

dans votre lettre et qui m'intéresse spécialement. Pourquoi nous élevons-nous avec tant de force contre la guerre, vous et moi et tant d'autres avec nous, pourquoi n'en prenons-nous pas notre parti comme l'une des innombrables vicissitudes de la vie ? Ne vous scandalisez pas de la question que je pose ici. Pour le besoin d'une enquête, il est peut-être permis de prendre le masque d'une impassibilité qu'on ne possède guère dans la réalité. Voici quelle est la réponse habituelle : parce que tout homme a un droit sur sa propre vie, parce que la guerre détruit des vies humaines chargées de promesses, etc.

»Tout cela est exact et paraît même si incontestable qu'on en est réduit à s'étonner qu'un accord unanime de l'humanité n'ait point encore banni la guerre. On peut évidemment discuter l'un ou l'autre de ces points. Mais ce n'est pas là ce à quoi vous entendiez m'engager. Je veux en arriver à autre chose : je crois que le motif essentiel pour quoi nous devons nous élever contre la guerre, c'est que nous ne pouvons faire autrement. Nous sommes pacifistes, parce que nous devons l'être en vertu de mobiles organiques.

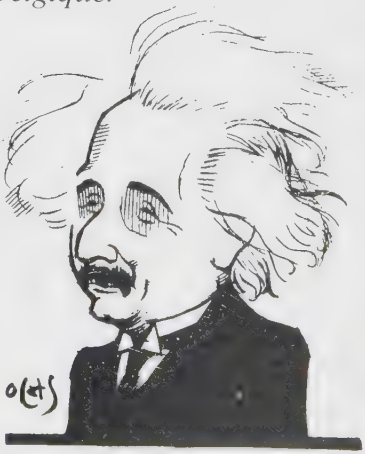
»Voilà qui ne va pas sans explication. Et voici ce que j'ajoute : depuis des temps immémoriaux, l'humanité subit le phénomène du développement de la culture (d'aucuns préfèrent, je le sais, utiliser ici le terme de civilisation). C'est à ce phénomène que nous devons le meilleur de ce dont nous sommes faits et une bonne part de ce dont nous souffrons. Ses causes et ses origines sont obscures, son aboutissement est incertain. Peut-être conduit-il à l'extinction du genre humain, car il nuit par plus d'un côté à la fonction sexuelle. [...] Les transformations psychiques qui accompagnent le phénomène de la culture sont évidentes et indubitables. Elles consistent en une éviction progressive des fins instinctives, jointes à une limitation des réactions impulsives. Des sensations qui pour nos ancêtres étaient chargées de plaisir nous sont devenues indifférentes et même intolérables : il y a des raisons organiques à la transformation qu'ont subie nos aspirations éthiques et esthétiques. Au sein des caractères psychologiques de la culture, il en est qui apparaissent comme les plus importants : l'affermissement de l'intellect, qui tend à maîtriser la vie instinctive, et la réversion intérieure du penchant agressif, avec toutes les conséquences favorables et dangereuses. Or les conceptions psychiques vers lesquelles l'évolution de la culture nous entraîne se trouvent heurtées de la manière la plus vive par la guerre, et c'est pour cela que nous devons nous insurger contre elle : nous ne pouvons tout simplement plus la supporter ; ce n'est pas seulement une répugnance intellectuelle, mais bien, chez nous, une intolérance constitutionnelle et affective, une idiosyncrasie en quelque sorte grossie à l'extrême. Et il semble bien que les dégradations esthétiques que comporte la guerre ne comptent pas pour beaucoup moins, dans notre indignation, que les atrocités qu'elle suscite.

»Et maintenant, combien de temps nous faudra-t-il encore pour que les autres deviennent pacifistes à leur tour ? On ne saurait le dire. Par quels chemins, par quels détours ? Nous ne pouvons le deviner. En attendant, nous pouvons nous dire : tout ce qui travaille au développement de la culture travaille aussi contre la guerre.»

Extrait de *«Warum Krieg?»*,
in *Oui la philosophie*,
nº 1, février-mars 1984

«Je ne refuserais pas le service militaire»

Pacifiste de la première heure, Einstein défendit la cause des objecteurs de conscience européens de 1918 à 1933. L'arrivée de Hitler au pouvoir le fit changer radicalement d'avis. Au désespoir de ceux qu'il avait jusqu'alors aidés et qui se sentirent trahis, comme en témoigne cet échange de lettres avec Alfred Nahon, un objecteur de conscience réfugié en Belgique.



EINSTEIN
SAVANT JUIF EX-ALLEMAND

Alfred Nahon à Einstein

Bruxelles, 20 juin 1933

Mon très cher Monsieur et frère,

Je suis un de ceux qui admirent le mieux et qui comprennent le plus votre antimilitarisme. Il y a longtemps que j'ai faite mienne votre formule célèbre : «En cas de guerre, je refuserai tout service militaire.» Mais, même et surtout en temps de guerre maquillée, de paix armée, je veux résister à l'organisation du meurtre. Je suis objecteur de conscience et viens me réfugier en Belgique. Je vis, avec ma jeune femme, dans une communauté laïque, très fraternelle, idéaliste, qui a été assez large pour bien vouloir m'accueillir.

Vous savez que deux jeunes gens sont actuellement en prison, à Bruxelles, en instance de conseil de guerre. [...]

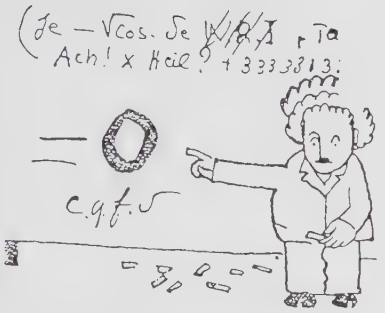
Je vous demande, avec l'énergie et la profondeur d'une supplique, de venir, vous aussi, héros et savant de la paix, témoigner en leur faveur. La portée d'un tel témoignage est inconcevable et serait incalculable. L'homme de science universellement réputé et respecté donnant son approbation à un acte antiguerrier, à cette heure problématique, quel exemple ! quelle leçon ! et quelle chance de sauver des hommes !

Einstein, je vous prie de faire cela, d'accepter ma proposition sans hésiter. Dans l'ardeur et la sincérité de mes vingt et un ans, j'en appelle à votre haute raison et à votre esprit de solidarité. [...] Et vous serez doublement honoré aux yeux du monde humain, si vous mettez votre génie au service d'une cause qui a, en vous, sa gloire, et, en d'autres, ses martyrs.

J'attends au jour le jour votre lettre D'avance, merci !, car j'ai confiance !

Affectueusement à vous,

A. Nahon



Dessin paru dans «Le Rouge et le Noir» du 27 septembre 1933.

Einstein à Alfred Nahon

Le Coq-sur-Mer, 20 juillet 1933

Monsieur,

Longtemps absent et surchargé d'obligations de toutes sortes, ce n'est qu'aujourd'hui que je trouve le temps de lire votre lettre. Vous allez être fort étonné de ce que je vais vous dire.

Nous vivions il y a peu de temps encore dans une époque où l'on pouvait espérer combattre efficacement le militarisme en Europe par une résistance individuelle. Mais aujourd'hui, nous nous trouvons en présence d'une situation tout à fait différente. Au centre de l'Europe, il y a une puissance (l'Allemagne) qui ouvertement, par tous les moyens, travaille à la guerre. Les pays romans, en particulier la Belgique et la France, se trouvent ainsi gravement en danger et sont absolument dépendants de leur armée. [...] C'est pourquoi je vous dis sans détour : dans les circonstances actuelles, citoyen belge, je ne refuserais pas le service militaire ; je l'accepterais de bon gré, avec le sentiment de contribuer à la sauvegarde de la civilisation européenne.

Cela ne signifie pas une renonciation de principe à la position que j'avais prise précédemment. Je n'ai pas d'espoir *plus grand* que de pouvoir retrouver des temps où le refus du service militaire sera à nouveau un moyen de lutte efficace au service du progrès de l'humanité. Je vous prie de porter cette lettre à la connaissance des amis politiques avec qui vous êtes en rapport, et en particulier à vos deux amis actuellement en détention.

Amical salut de votre

A. E.

Alfred Nahon à Einstein

5 août 1933

Votre lettre m'a beaucoup peiné. Elle peinera tous les pacifistes sincères et donnera prise à tous les découragements possibles. Avec le plus grand respect pour votre génie, cher Einstein, et avec la prudence que me commandent mon âge ainsi que ma raison, je crie à la trahison. Vous permettrez donc qu'éclate une guerre prochaine, qui sera encore une fois celle de la Civilisation contre la Barbarie ! Le service militaire est, toujours et partout, l'apprentissage du crime, de la haine, du mensonge, la guerre est, toujours et partout, l'exaltation, le triomphe de la sauvagerie.

Nous sommes à une époque où tout chavire. Oui, les honneurs tuent les idées. Je ne dis pas «Hélas !», car dans ce drame où l'on voit les événements écraser les hommes, j'espère bien que ceux-ci puiseront la grande leçon d'innombrables souffrances : qu'ils doivent dominer les événements J'enregistre tout de même avec douleur cette défaite de l'Esprit en face de la Force. [...]

A. N.

Le sauvetage des Juifs allemands

Depuis Princeton où il avait facilement trouvé refuge du fait de sa célébrité, Einstein a déployé des efforts considérables pour faire sortir d'Allemagne les Juifs allemands et leur faciliter l'entrée aux Etats-Unis. L'un des moyens les plus souvent utilisés par Einstein fut de fournir à ceux qui lui en faisaient la demande un affidavit, pièce administrative indispensable prouvant qu'une personnalité répondait personnellement du candidat à l'émigration et se portait garante de sa capacité à subvenir à ses besoins aux Etats-Unis.

Einstein ne réussit pas toujours dans son entreprise. Harry Isay, docteur en sciences économiques, ancien journaliste, exilé en France après 1933, et obligé de trouver un autre refuge à partir de 1939, subit le sort de beaucoup de ses semblables. N'ayant pu fuir à temps, il fut interné au camp des Milles d'où Einstein ne réussit pas à le faire sortir, puis déporté à Auschwitz en 1942.

Harry Isay à Einstein

Paris, 14 mai 1940

[...] la situation a de nouveau complètement changé. Tous les réfugiés, juifs ou non, doivent se regrouper aujourd'hui dans un grand stade, d'où ils seront envoyés dans différents camps. [...]

Dans cette situation mauvaise et douloureuse, puis-je vous déranger une fois encore avec mes problèmes personnels ?

M'étant inscrit pour l'immigration aux Etats-Unis en novembre 1938, je vais très bientôt être admis dans les quotas de ceux qui peuvent faire l'objet d'un visa. Avec ce visa je pourrai quitter ce pays immédiatement et me rendre aux Etats-Unis. Je n'ai pas encore trouvé des gens suffisamment riches pour m'envoyer un affidavit. De sorte que mon immigration peut être considérablement retardée, ou même empêchée, ce qui n'est pas une éventualité très souriante pour quelqu'un qui est en train d'entrer dans un camp de concentration !

I AM A

An

Interview d'Einstein au «Sunday Express» : «Je suis Juif et fier de l'être.»

Est-il présomptueux de vous demander à vous, ou aux comités auxquels vous collaborez, de m'aider à trouver une personnalité acceptant de me donner un affidavit ? [...]

Harry Isay à Einstein

La Papeterie
Tence (Haute-Loire), 25 septembre 1940

[...] Etant donné la situation vraiment désespérée dans laquelle je me trouve maintenant, puis-je me permettre de demander encore une fois s'il n'est pas possible d'obtenir un affidavit d'un coreligionnaire américain ? Dans les prochaines semaines, je serai probablement invité à présenter mes papiers d'immigration au consulat américain. Ce serait une véritable catastrophe si, faute d'affidavit, j'étais contraint de renoncer à mon visa et de demeurer plus longtemps dans cet enfer ! [...]

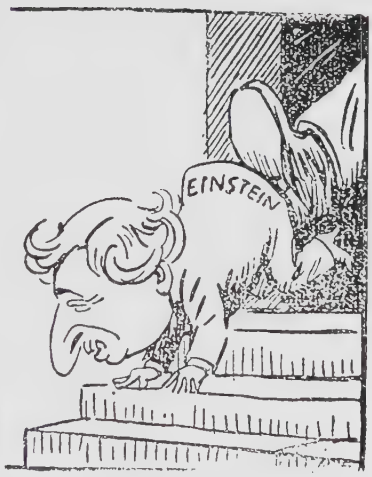
Einstein à Harry Isay

Tence, 19 octobre 1940

Cher Monsieur Isay,

Je vous envoie ci-joint mon affidavit, mais je tiens à préciser que mes parrainages ont sensiblement perdu de leur efficacité, pour cause d'inflation. J'espère toutefois que ce papier, même s'il ne s'avère pas efficace quant à son but véritable, pourra vous être quand même d'une quelconque utilité. [...]

W—
roud Of It!



Caricature antisémite parue dans le *Deutsche Tagerzeitung* de Berlin en 1933.

Harry Isay à Einstein

Gurs, 10 décembre 1940

[...] Puis-je me permettre d'abuser une fois encore de votre temps en vous demandant de me donner un document supplémentaire exigé depuis peu. On me réclame en effet un «affidavit moral» : on doit y attester que je suis irréprochable sur le plan moral, que je ne projette pas de me livrer à des activités antiaméricaines et que je ne suis pas l'émissaire d'un Etat étranger. [...]

Harry Isay à Einstein

Les Milles, 11 juillet 1941

[...] vous avez probablement déjà appris que les nouvelles dispositions sur l'immigration sont plus défavorables que tout ce qu'on pouvait attendre de pire.

En effet, il faut remplir de *nouveaux* affidavits (d'un modèle bien déterminé, mais que le consulat de Marseille ne connaît pas encore) et les soumettre au State Department à Washington.

Puis-je vous demander d'avoir la grande gentillesse de me les procurer – le plus tôt possible ? […]

Harry Isay à Einstein

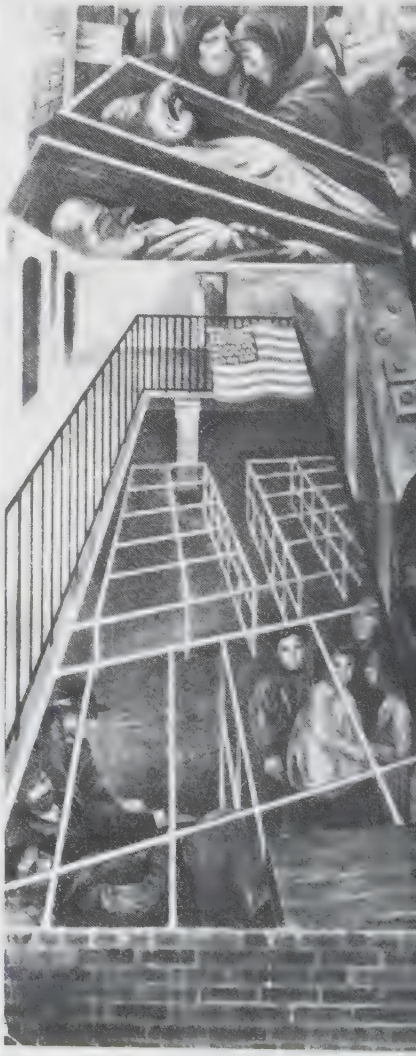
Les Milles, 30 août 1941

[…] Le bureau de Marseille de l'Emergency Rescue Committee vient de me faire savoir que vous avez déposé au State Department un affidavit en ma faveur. Permettez-moi de vous exprimer ma gratitude la plus chaleureuse pour votre grande bonté et votre amitié. Cette nouvelle réjouissante est arrivée juste au bon moment. Car la captivité qui s'éternise (bientôt deux ans), l'amaigrissement consécutif à la sous-alimentation, des malaises cardiaques répétés, etc., minent le corps et l'esprit et se manifestent avant tout sous forme de dépression. L'espoir n'est revenu qu'avec plus de force à cette bonne nouvelle ! […]

Harry Isay à Einstein

Les Milles, 5 novembre 1941

[…] Sans doute avez-vous reçu ma lettre de fin août, que je vous ai envoyée directement […] je vous remerciais, après que l'Emergency Rescue Committee de New York eut télégraphié à son bureau de Marseille : «*Isay will be resubmitted by Einstein*», ce qui signifiait que vous me renouvelleriez l'affidavit que vous aviez eu la bonté de me donner l'année dernière. Cette nouvelle m'avait alors soulagé d'un grand souci. Depuis, ni le bureau de Marseille ni moi n'avons reçu la moindre information permettant de savoir si votre affidavit – pour lequel, en plus, il a fallu d'abord se procurer le



Ben Shahn : «L'Immigration».

formulaire adéquat — avoir été déposé à Washington. Puisque ne permettre l'impudence de vous demander si [illegible] est fait ? Dans le cas contraire, je doute fort, vu les menaces de la situation militaire, que je pourrai encore m'en sortir.

Correspondance avec Harry Day, in *Œuvres choisies d'Albert Einstein*, vol. 4, Le Seuil/CNRS, 1989

L'homme et le monde

Brecht et Einstein ont tous deux été chassés d'Allemagne en 1933 et ont trouvé refuge aux Etats-Unis. Le texte que l'on va lire, extrait d'une conférence prononcée en 1939, est contemporain de l'achèvement de la première version de La vie de Galilée *où Brecht met en scène les tourments du savant obligé de capituler devant l'Inquisition pour pouvoir poursuivre des recherches qui par ailleurs ébranlent l'ordre établi. Les critiques adressées ici par Brecht à Einstein seront explicitées au moment de la rédaction de la deuxième version de* La vie de Galilée, *en 1945, lorsqu'éclatera la bombe d'Hiroshima.*

Avant la guerre, j'ai vécu devant mon poste de radio une scène véritablement historique : on interviewait les collaborateurs du physicien Niels Bohr, à Copenhague, sur une découverte révolutionnaire dans le domaine de la fission de l'atome. Les physiciens rapportèrent qu'une nouvelle source d'énergie, gigantesque, avait été décelée. Lorsque le reporter demanda si l'on pouvait déjà envisager une application pratique de ces expériences, il lui fut répondu : «Non, pas encore.» Sur le ton du plus vif soulagement, le reporter déclara alors : «Dieu soit loué ! Je crois vraiment que l'humanité est encore loin, et il s'en faut, d'être assez mûre pour utiliser une telle source d'énergie.» De toute évidence, sur le moment, il n'avait pensé qu'à l'industrie de guerre. Le physicien Albert Einstein ne va pas aussi loin, mais assez loin pourtant, lorsqu'il écrit ces quelques phrases qui, enfermées dans une capsule et enterrées lors de l'Exposition internationale de New York, rapporteront aux générations futures ce que fut notre époque : «Notre époque est riche en esprits novateurs dont les inventions pourraient considérablement alléger notre vie. Nous traversons les mers grâce à la force des machines, et nous utilisons aussi la force des machines pour libérer l'humanité de tout travail musculaire fatigant. Nous avons appris à voler et, au moyen d'ondes électriques, nous pouvons répandre informations et nouvelles dans le monde entier. Mais la production et la répartition des marchandises ne sont absolument pas organisées, de sorte que chacun doit vivre dans la peur de se voir exclu du circuit économique. En outre, à intervalles variables, les hommes vivant dans des pays différents s'entre-tuent, de sorte que quiconque réfléchit à l'avenir doit vivre dans la peur. Cela tient au fait

que l'intelligence et le caractère des masses sont à un niveau incomparablement plus bas que ceux des quelques hommes qui produisent des choses précieuses pour la communauté.»

Einstein motive donc le fait que la maîtrise de la nature, dans laquelle nous avons tellement progressé, apporte si peu de bonheur aux hommes, par le fait que les hommes en général n'ont pas appris comment appliquer utilement découvertes et inventions[1]. Ils ne savent pas grand-chose de leur propre nature, et c'est parce qu'ils en savent si peu sur eux-mêmes que leur connaissance de la nature ne leur profite guère. Effectivement, l'oppression et l'exploitation monstrueuses de l'homme par l'homme, les boucheries guerrières et les dégradations en tous genres du temps de paix ont déjà pris sur toute la planète un caractère quasi naturel, mais face à ces phénomènes naturels les hommes sont, hélas, loin de déployer autant d'ingéniosité et d'acharnement que face à d'autres phénomènes naturels. Innombrables sont ceux à qui les grandes guerres apparaissent comme des sortes de tremblements de terre, donc comme des forces de la nature ; mais alors qu'ils viennent déjà à bout des tremblements de terre, ils ne s'en sortent pas avec eux-mêmes. On voit combien on gagnerait à ce que le théâtre et l'art en général soient capables de donner une image du monde propre à favoriser la pratique. Un art qui le ferait pourrait intervenir en profondeur sur le développement de la

société, il ne s'épuiserait pas à donner des impulsions plus ou moins confuses, il livrerait à l'homme, à l'homme qui pense et qui sent, le monde, le monde des hommes, pour que l'homme le soumette à sa pratique.

Bertold Brecht,
«Sur une dramaturgie
non aristotélicienne»,
Ecrits sur le théâtre, vol. I,
L'Arche, 1963

1. Nous n'avons pas besoin d'entrer ici dans une critique minutieuse du point de vue technocratique du grand savant. Naturellement, ce sont les masses qui produisent ce qui est utile à la communauté, et les rares esprits novateurs sont très impuissants face au circuit économique des marchandises. Il nous suffit ici qu'Einstein constate, directement et indirectement, l'ignorance où sont les hommes des intérêts de la société.

Mythologies

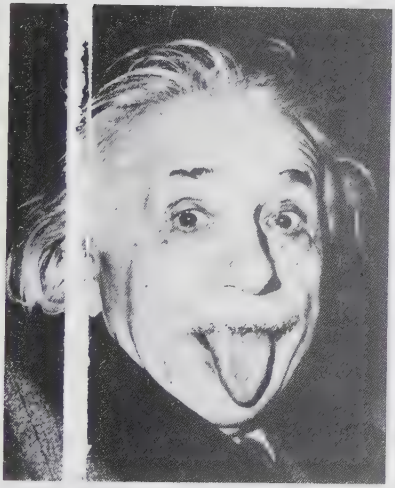
Einstein tirant la langue, Einstein les cheveux au vent tel un vieux fou, Einstein au regard pétillant de malice sur fond de $E = Mc^2$... Notre vie quotidienne est encombrée d'images du savant qui servent à vendre aussi bien des jeans que des calculettes.

L'arbre et la forêt : le mythe Einstein

Jean-Marc Lévy-Leblond voit dan 'e mythe Einstein le besoin de se rac ocher à une idée disparue de la science e u savant : pur, dur, solitaire, indéper nt, matériellement pauvre, intellectue nent riche.

Ni le génie scientifique, ni la statı morale d'Einstein ne suffisent à expliquer le mythe dont il a été e este le héros – et sans doute aussi la vi me. Il n'est pas sûr d'ailleurs que l'on uisse «expliquer» ce mythe, tant il sem riche d'aspects divers. Sans doute st-il justement constitué par cette surdétermination même, dont on peut que tenter *a posteriori* de décrire quelques lignes de force.

[...] l'intérêt diplomatique ne fit pas à justifier la faveur publique. elle-ci semble découler largement de l'i nense appétit pour les idées neuves, du ût forcené pour l'innovation, du sen le la rupture qui marquent la culture l'après-guerre. Les conceptions l plus étranges, voire les plus délibéren nt provocatrices, tel le dadaïsme, se propagent avec rapidité. La littér ure en témoigne. Dans *Sylvia*, Emmanu Berl écrit ainsi : «La guerre avait laiss in certain désespoir au cœur de cha n ; l'après-guerre fut, néanmoins, u époque d'espérance, de foi secrè [...]. Les toniques, après tout, ne man aient pas : les révolutionnaires avaient énine, les industriels avaient Ford, les s ants Einstein, les psychologues Freu Le caractère choquant de certains a ects des théories relativistes, leurs pa doxes apparents, largement et exagéré nt mis au premier plan par une vulgarisation avide de sensationnel, comptent pour beaucoup dans la constitution d



einstei ien. D'autres résultats
scienti ques, pourtant au fond beaucoup
plus ra calement nouveaux, comme
ceux d la théorie quantique, et les idées
de Boh et Heisenberg, connaîtront une
égale e ploitation philosophique et
idéolog ue, mais ne dépasseront guère
les cer s cultivés, contrairement à la
relativ . C'est que sont ici mis en
questi non pas des propriétés
ésotéri es de la matière à l'échelle
micros pique, mais l'espace et le temps
eux-mê es, familier tissu de la vie
quotid ne. Le malentendu sera total :
dans u monde où l'intuition courante
est néc sairement extra-scientifique (et
dont la éorisation aristotélicienne
finalen nt reste fort pertinente), le
caractè conflictuel de cette intuition
avec le nceptions einsteiniennes sera
attribu x nouveautés de cette théorie,
alors q le conflit pour l'essentiel a déjà
éclaté a c les théories galiléennes et
newtor nnes. C'est donc moins le
contenu spécifique des découvertes
d'Eins n que leur caractère
propre ent scientifique, abstrait, non
empirique, qui fait impression, concernant ces «évidences naturelles» que sont les propriétés de l'espace et du temps. Beaucoup de philosophes et non des moindres, Bergson en particulier, s'y laisseront tromper, faisant à Einstein des critiques qu'ils auraient pu adresser déjà à Galilée et Newton. Inversement, l'exploitation des théories d'Einstein au profit du relativisme philosophique, savant ou populaire («tout est relatif, comme dit Einstein») témoigne de la même confusion et n'est pas pour rien dans la persistance du mythe.

Une fois la légende einsteinienne lancée, elle trouvera à se conforter et s'alimenter dans le caractère et le comportement de l'homme : son non-conformisme, son pacifisme, son intégrité lui confèrent un prestige personnel, une aura indiscutable. Ici se marque à plein le rôle idéologique du mythe. Pendant la première moitié du siècle, au moment même où la science, la physique en tout premier lieu, passe du stade artisanal – celui du savant solitaire – au stade industriel – celui du chercheur en équipe –, au moment où la science s'institutionnalise, se hiérarchise, se lie toujours plus au pouvoir politique, économique et militaire, elle se voit symbolisée en un homme qui représente les caractères mêmes qu'elle est en train de perdre. Einstein, s'il est évidemment de son temps, et combien, par ses contributions, en est fort loin par sa conception de la recherche et par son rôle dans la cité scientifique. Sa figure alors devient représentative de celle, désormais illusoire, du «savant» disparu, et sa légende ne contribuera pas peu, pendant la première moitié du siècle, à obscurcir la nature sociale effective de la science contemporaine. Comme tous les mythes, celui-ci est susceptible d'une inversion brutale : après Hiroshima, la

science, pour certains, de bien absolu deviendra mal total, et le pacifiste Einstein sera parfois considéré comme le «père de la bombe». Là encore, le mythe ne sert qu'à conforter une vision simpliste, purement éthique, d'un processus sociopolitique autrement complexe.

Il est temps aujourd'hui que l'arbre cesse de cacher la forêt.

Jean-Marc Lévy-Leblond,
L'Esprit de sel,
Fayard, 1981

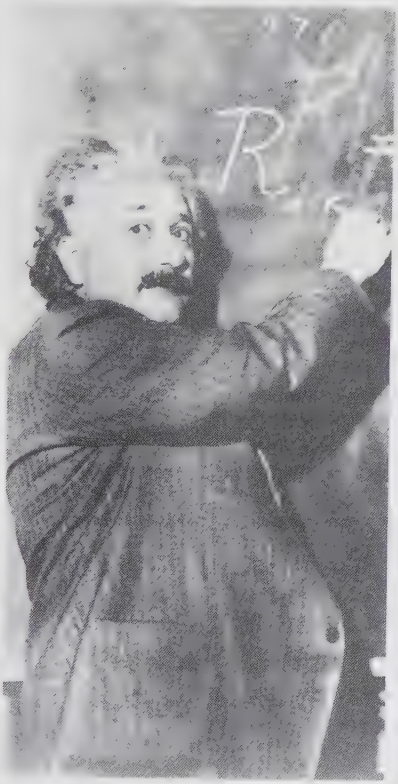
Le cerveau d'Einstein

Roland Barthes analyse cet objet mythique s'il en fut : le cerveau d'où sont sorties des théories «géniales».

Le cerveau d'Einstein est un objet mythique : paradoxalement, la plus grande intelligence forme l'image de la mécanique la mieux perfectionnée, l'homme trop puissant est séparé de la psychologie, introduit dans un monde de robots ; on sait que dans les romans d'anticipation, les surhommes ont toujours quelque chose de réifié. Einstein aussi : on l'exprime communément par son cerveau, organe anthologique, véritable pièce de musée. Peut-être à cause de sa spécialisation mathématique, le surhomme est ici dépouillé de tout caractère magique ; en lui aucune puissance diffuse, aucun mystère autre que mécanique : il est un organe supérieur, prodigieux, mais réel, physiologique même.
Mythologiquement, Einstein est matière, son pouvoir n'entraîne pas spontanément à la spiritualité, il lui faut le secours d'une morale indépendante, le rappel de la «conscience» du savant (*Science sans conscience*, a-t-on dit.)

Einstein lui-même a prêté un peu à la légende en léguant son cerveau, que deux hôpitaux se disputent comme s'il s'agissait d'une mécanique insolite que l'on va pouvoir enfin démonter. Une image le montre étendu, la tête hérissée de fils électriques : on enregistre les ondes de son cerveau, cependant qu'on lui demande de «penser à la relativité». (Mais, au fait, que veut dire exactement : «penser à...» ?) On veut nous faire entendre sans doute que les sismogrammes seront d'autant plus violents que la «relativité» est un sujet ardu. La pensée elle-même est ainsi représentée comme une matière énergétique, le produit mesurable d'un appareil complexe (à peu de chose près électrique) qui transforme la substance cérébrale en force. La mythologie d'Einstein en fait un génie si peu magique, que l'on parle de sa pensée comme d'un travail fonctionnel analogue à la confection mécanique des saucisses, à la mouture du grain ou au bocardage du minerai : il produisait de la pensée, continûment, comme le moulin de la farine, et la mort a été pour lui, avant tout, l'arrêt d'une fonction localisée : «Le plus puissant cerveau s'est arrêté de penser.»

Ce que cette mécanique géniale était censée produire, c'étaient des équations. Par la mythologie d'Einstein, le monde a retrouvé avec délice l'image d'un savoir formulé. Chose paradoxale, plus le génie de l'homme était matérialisé sous les espèces de son cerveau, et plus le produit de son invention rejoignait une condition magique, réincarnait la vieille image ésotérique d'une science toute enclose dans quelques lettres. Il y a un secret unique du monde, et ce secret tient dans un mot, l'univers est un coffre-fort dont l'humanité cherche le chiffre : Einstein l'a presque trouvé, voilà le mythe d'Einstein ; on y retrouve tous les thèmes



gnostiques : l'unité de la nature, la possibilité idéale d'un réduction fondamentale du monde, la puissance d'ouverture du mot, la lutte ancestrale d'un secret et d'une parole, l'idée que le savoir total ne peut se découvrir que d'un seul coup, comme une serrure qui cède brusquement après mille tâtonnements infructueux. L'équation historique $E = Mc^2$, par sa simplicité inattendue, accomplit presque la pure idée de la clef, nue, linéaire, d'un seul métal, ouvrant avec une facilité toute magique une porte sur laquelle on s'acharnait depuis des siècles. L'imagerie rend bien compte de cela : Einstein, *photographié*, se tient à côté d'un tableau noir couvert de signes mathématiques d'une complexité visible ; mais Einstein *dessiné*, c'est-à-dire entré dans la légende, la craie encore en main, vient d'écrire sur un tableau nu, comme sans préparation, la formule magique du monde. La mythologie respecte ainsi la nature des tâches : la recherche proprement dite mobilise des rouages mécaniques, a pour siège un organe tout matériel qui n'a de monstrueux que sa complication cybernétique ; la découverte, au contraire, est d'essence magique, elle est simple comme un corps primordial, comme une substance principielle, pierre philosophale des hermétistes, eau de goudron de Berkeley, oxygène de Schelling.

Mais comme le monde continue, que la recherche foisonne toujours et qu'il faut aussi réserver la part de Dieu, un certain échec d'Einstein est nécessaire : Einstein est mort, dit-on, sans avoir pu vérifier «l'équation dans laquelle tenait le secret du monde». Pour finir, le monde a donc résisté ; à peine percé, le secret s'est fermé de nouveau, le chiffre était incomplet. Ainsi Einstein satisfait-il pleinement au mythe, qui se moque des contradictions pourvu qu'il installe une sécurité euphorique : à la fois mage et machine, chercheur permanent et trouveur incomblé, déchaînant le meilleur et le pire, cerveau et conscience, Einstein accomplit les rêves les plus contradictoires, réconcilie mythiquement la puissance infinie de l'homme sur la nature, et la «fatalité» d'un sacré qu'il ne peut encore rejeter.

Roland Barthes,
Mythologies,
Le Seuil, 1957

CHRONOLOGIE

14 mars 1879. Naissance d'Albert Einstein à Ulm, fils de Hermann et Pauline Einstein.
1880. La famille s'installe à Munich.
1881. Naissance de Maja, la sœur d'Einstein.
1885-1888. Etudes primaires.
1888-1894. Etudes au *Gymnasium* Luitpold de Munich, qu'il quitte avant d'avoir obtenu le diplôme de fin d'études permettant de s'inscrire dans une université.
1894. Albert Einstein rejoint ses parents installés en Italie, à Pavie.
1895. Echec au concours du *Polytechnicum* de Zurich.
1896. Préparation de ce concours à l'école cantonale d'Aarau (Suisse), qui lui fait l'effet d'un havre de liberté après la rigueur du *Gymnasium*.
1896-1900. Etudes au *Polytechnicum*, où il rencontre Mileva Marić.
1901. Einstein acquiert la nationalité suisse. Il ne trouve pas de travail et est obligé d'accepter divers petits «boulots».
1902. Mileva accouche d'une petite fille et échoue à l'examen de sortie du *Polytechnicum*.
Einstein trouve enfin un emploi au Bureau des brevets de Berne grâce au père de son ami Marcel Grossmann. Mort de Hermann Einstein.
1903. Mileva Marić épouse Albert Einstein qui publie divers articles sur les fondements de la thermodynamique.
1904. Naissance de Hans Albert Einstein (mort en 1973).
1905. *Annus mirabilis*. Einstein publie cinq articles dont un sur les quanta de lumière et un autre qui fonde la théorie de la relativité restreinte, auquel est adjoint un post-scriptum contenant la fameuse équation $E = Mc^2$.
1906. Einstein est nommé *Privatdozent* (enseignant payé par ses étudiants) à l'université de Berne.
1907. Début du travail sur la relativité générale.
1909. Einstein est nommé professeur à l'université de Zurich.
1910. Naissance d'Eduard Einstein (mort en 1965).
1910-1912. Séjour à Prague où Einstein est nommé à l'université Charles.
Rencontre avec Ehrenfest.
1912. Retour à Zurich et collaboration avec Marcel Grossmann, qui l'aide à résoudre les difficultés mathématiques présentées par la théorie de la relativité générale.
1914. Einstein est nommé à Berlin, professeur à l'université et membre de l'académie des sciences de Prusse. Mileva retourne à Zurich avec leurs deux enfants. Einstein signe un manifeste antimilitariste, en réponse au manifeste nationaliste (dit «des 93») signé par l'ensemble de ses collègues de Berlin.
1916. Publication de l'article de synthèse finale sur la théorie de la relativité générale.
1917. Premières considérations cosmologiques.
1918. Einstein soutient les débuts de la République de Weimar.
1919. Expédition d'Eddington confirmant la théorie de la relativité générale. Einstein devient célèbre du jour au lendemain. Divorce d'avec Mileva et mariage avec sa cousine Elsa.
1920. Campagne antisémite contre Einstein.
1921. Série de voyages, en particulier aux Etats-Unis, pour recueillir les fonds nécessaires à la création de l'université hébraïque de Jérusalem.
1922. Séjour à Paris, puis au Japon.
Prix Nobel.
1923. Voyage en Palestine au retour du Japon.
Einstein démissionne du Comité international de coopération intellectuelle de la Société des Nations pour protester contre l'occupation de la Ruhr.
1925. Voyage en Amérique du Sud.
1927. Congrès Solvay.
1928. Einstein est élu président de la Ligue des droits de l'homme.
1930. Séjour aux Etats-Unis, en particulier en Californie où il rencontre Hubble.
1932. Nouveau séjour en Californie.
1933. Prise du pouvoir par Hitler. Après un quatrième séjour aux Etats-Unis, Einstein s'installe en Belgique le temps de voir comment va évoluer la situation en Allemagne.
1934. Soutien actif aux réfugiés allemands juifs.
1939. Lettre à Roosevelt attirant son attention sur la possibilité de fabriquer une arme nucléaire.
1940. Einstein devient citoyen des Etats-Unis.
1946. Participation à la lutte des physiciens américains qui ont perdu le contrôle de l'arme qu'ils ont fabriquée.
1952. Einstein refuse la présidence de l'Etat d'Israël.
1953. Einstein se prononce contre le mac-carthisme.
18 avril 1955. Mort d'Einstein.

BIBLIOGRAPHIE

Œuvres d'Albert Einstein

— *Œuvres complètes*. L'ensemble de l'œuvre d'Einstein est en cours de publication aux Etats-Unis sous le titre *The Collected Papers of Albert Einstein*. L'édition prévue comportera tous les écrits d'Einstein : livres, articles, écrits de circonstances, conférences dont on possède le manuscrit, notes de cours, manuscrits non publiés, lettres de tous ordres, etc. Ces documents seront présentés dans leur langue d'origine (principalement l'allemand) avec un ensemble de notes critiques rédigées en anglais par les éditeurs regroupés au sein d'une équipe travaillant à l'université de Boston. Une trentaine de volumes sont prévus, répartis en quatre périodes : *The Early Years* (1879-1902), *The Swiss Period* (1901-1914), *The Berlin Years* (1914-1933) et *The Princeton Years* (1933-1955). A ce jour (décembre 1993) deux volumes parus :

— vol. I : *The Early Years* (1879-1902), J. Satchel et *al.* ed., Princeton University Press, 1987.

— vol.II : *The Swiss Period* (1901-1909), *Writings*, J. Satchel et *al.* ed., Princeton University Press, 1989.

— *Œuvres choisies* en français en 6 volumes. Textes sélectionnés, traduits et annotés par une équipe du C.N.R.S., publication le Seuil/C.N.R.S., 1989-1993 :

— vol. I : *Quanta.*
— vol.II : *Relativité I.*
— vol.III : *Relativité II.*
— vol.IV : *Correspondances françaises.*
— vol.V : *Sciences, éthique, philosophie.*
— vol.VI : *Ecrits politiques.*

— *The Evolution of Physics. The Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta* (en collab. avec Infeld L.) ; trad. franç. *L'Evolution des idées en physique, des premiers concepts aux théories de la relativité et des quanta*, Paris, Flammarion, 1938 et 1964, Payot, 1963.

— *Conceptions scientifiques*, Paris, coll. Champs, Flammarion, 1990.

Ouvrages biographiques

— Frank Philipp, *Albert Einstein, sein Leben und Zeit*, Brunswick, Vieweg, 1979 ; trad. franç. A. George, *Einstein, sa vie, son temps*, Paris, Albin Michel, 1950, rééd. 1968, republié coll. Champs, Flammarion, 1991.

— Hoffmann Banesh (en collab. avec Dukas Helen), *Albert Einstein, Creator and Rebel*, New York, Viking, 1972 ; trad. franç. M. Manly, *Albert Einstein, créateur et rebelle*, Paris, Le Seuil, 1975.

— Merleau-Ponty Jacques, *Einstein*, Paris, Flammarion, 1993.

— Pais Abraham, *Subtle is the Lord : the Science and the Life of Albert Einstein*, Oxford (G.-B.), Clarendon Press & New York, Oxford University Press, 1982 ; trad. franç. C. Jeanmougin, *A. Einstein, la vie et l'œuvre*, Interéditions, 1993.

— Schartz Joseph, MacGuiness Michael, *Einstein for Beginners*, 1979 ; trad. franç. *Einstein pour débutants*, Paris, Maspéro, 1980.

— Sugimoto Kenji, *Albert Einstein, die kommentierte Bilddokumentation*, Moos and Partner, 1987 ; trad. franç. *Albert Einstein. Biographie illustrée*, Paris, Belin, 1990.

Correspondances

Quatre recueils sont parus en français :

— *A. Einstein, M. Besso, Correspondance 1903-1955*, P. Speziali ed., Paris, Hermann, 1972.

— A. *Einstein, M. Bron, Correspondance 1916-1955*, trad. franç. P. Leccia, Paris, Le Seuil, 1972.

— *Einstein Albert, lettres à Maurice Solovine*, M. Solovine ed. et trad., Paris, Gauthier-Villars, 1956.

— *A. Einstein, M. Marić, Lettres d'amour et de science*, trad. franç. E. Kaufmann, Paris, Le Seuil, 1993.

TABLE DES ILLUSTRATIONS

COUVERTURE

1er plat Galaxie et quasar; Einstein de profil; fragment de manuscrit sur la relativité, manuscrit autographe d'Einstein. Dos Einstein en 1920, photographie
2e plat Interprétation de la théorie de la relativité, photographie.

OUVERTURE

1 Einstein à la fin de sa vie, photographie d'Ernst Haas
2/9 Projet d'article sur les idées fondamentales de la théorie de la relativité, manuscrit autographe d'Einstein.
2 Horloge symbolisant la relativité du temps, photographie

d'Erich Lessing.
3 Diffraction d'un faisceau de lumière, photographie d'Erich Lessing.
4/5 Modèle en Plexiglas de l'uranium 235, photographie d'Erich Lessing.
6/7 Reconstitution de l'éclipse solaire de 1905, photographie d'Erich Lessing.
8/9 Constellation de la Vierge, photographie.
11 Einstein, caricature de Luis Bogaria, 1923.

CHAPITRE I

12 Einstein en 1895, photographie.
13 Wilhelm II sur la Festplatz de Munich, photographie de 1906.
14g Einstein à l'âge de 3 ans, photographie. Archives Einstein, fondation Dr Max Flückiger, Berne.
14d Registre de naissance d'Einstein.
15 Vue de la Marienplatz à Munich, photographie de la fin du XIXe siècle.
16 Einstein à l'âge de 14 ans en compagnie de sa sœur, photographie.
16/17 Défilé militaire en Allemagne, photographie du début du siècle.
17 Einstein au *Gymnasium* de Munich, photographie, v. 1890.
18 Portrait de Hermann Einstein, photographie. Archives de l'E.T.H., Zurich.
18/19 Vue de la Marienplatz à Munich, photographie de la fin du XIXe siècle.
19 Portrait de Pauline Einstein, photographie. Archives de l'E.T.H., Zurich.
20 Dynamo fabriquée par la société J. Einstein and Co., gravure.
21h Vue de l'usine de Jakob et Hermann Einstein à Pavie, aquarelle, v. 1900.
21b Lampe à arc fabriquée par J. Einstein and Co., gravure, v. 1890.
22h Place de la Gare et *Polytechnicum* de Zurich, photographie du début du siècle.
22b Einstein en classe de terminale à Aarau, photographie, v. 1895-1896. Archives Einstein, fondation Dr Max Flückiger, Berne.
23 Portrait de Mileva Marić, future femme d'Einstein, photographie. *Idem.*
24 Einstein au Bureau des brevets à Berne, photographie de 1902.
25h Einstein et ses camarades Marcel Grossmann, Gustav Geissler et Eugen Grossmann à Thalwill, près de Zurich, photographie de 1899. Archives de l'E.T.H., Zurich.
25b Petite annonce passée par Einstein dans un journal de Berne en 1902 dans laquelle il propose des leçons particulières en mathématiques et physique.
26h Intérieur du café Metropol à Zurich, photographie du début du siècle. Archives d'urbanisme, Zurich.
26b Fondateurs de l'açadémie Olympia, Conrad Habicht, Maurice Solovine et Albert Einstein, photographie. Archives Einstein, fondation Dr Max Flückiger, Berne.
27 Einstein et sa femme Mileva à Zurich avec leur premier fils, photographie de 1904.

CHAPITRE II

28 Einstein à l'âge de 14 ans, photographie.
29 Portrait de Maxwell, photographie, v. 1870.
30 Expérience de Galilée sur la vitesse de déplacement d'un navire, infographie.
31g Frontispice de *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* de Newton, édition de 1737 à Londres.
31d Manuscrit autographe de Newton préparatoire à l'édition des *Principia*, 1685
32h Frontispice et dessin extrait du *Traité de la lumière* de Huygens, 1690.
32/33 Maquette fabriquée par Wheatstone illustrant la théorie de Maxwell relative à la propagation de la lumière. Science Museum, Londres.
33 Intérieur du Trinity College à Cambridge, photographie d'Erich Lessing.
34 Représentation schématique de l'éther de Maxwell.
34/35 Albert Michelson devant son microscope, photographie, v. 1910.
35g Décomposition de la lumière. Palais de la Découverte, Paris.
35d Raies d'émission de la lumière, photographie.
36h Molécule de platine vue au microscope à effet de champ.
36b Franges d'interférence de la lumière, photographie. Palais de la Découverte, Paris.
37 Filament électrique à l'intérieur d'une ampoule, photographie.

CHAPITRE III

38 Einstein à Zurich, photographie de 1912.
39 Formule autographe d'Einstein.
40g Frontispice du journal *Annalen der Physik* publié à Leipzig en 1905 dans lequel Einstein a publié ses premiers articles.
40d Portrait de Max Planck. A.I.P., Emilio Segrè Visual Archives, coll. W. F. Meggers, New York.
41g Intérieur du Bureau des brevets à Berne, photographie du début du siècle. Archives Einstein, fondation Dr Max Flückiger, Berne.
41d Ludwig Boltzmann, photographie, v. 1890.
42 Observation interférentielle de lame mince d'eau de savon, photographie. Palais de la Découverte, Paris.
43 Détail d'une

enseigne lumineuse aux Etats-Unis, photographie.
44 Laboratoire d'Einstein au *Polytechnicum* de Zurich, photographie d'Erich Lessing.
45 Reçu d'Einstein pour des leçons d'électricité données en 1905. A.I.P., New York.
46 Définition de la relativité d'Einstein avec l'approbation autographe de ce dernier.
47 Manuscrit autographe d'Einstein portant sur la loi d'équivalence entre la masse et l'énergie ($E = Mc^2$).
48g Dessin de Gamow illustrant la relativité du temps et de l'espace selon Einstein, in *Monsieur Tompkins au pays des Merveilles,* 1940.
48d Désintégration d'un muon en chambre de Wilson, photographie, 1948.
49 Dessin de Gamow illustrant la relativité du temps et de l'espace selon Einstein, in *Monsieur Tompkins au pays des Merveilles,* 1940.
50/51h Dessin humoristique réalisé lors du séjour d'Einstein à Paris, *L'Œuvre,* 10 avril 1922.
50/51b Lettre du comité Nobel de physique à Paul Langevin concernant l'attribution du prix Nobel à Einstein, janvier 1922. Palais de la Découverte, Paris.

CHAPITRE IV

52 Einstein en 1921, photographie.
53 Dessin humoristique sur la relativité du temps paru dans *L'Œuvre,* 10 avril 1922.
54/55h et b *Golconde* (détail), René Magritte, 1953, huile sur toile. Coll. part., Houston.
54/55m Page de titre du manuscrit autographe des *Fondements de la théorie de la relativité* édité en 1916.
56 Caricature de la théorie de Newton sur l'attraction universelle des corps, *in* Clubbe, *Physiognomy,* 1763.
57 Expérience de Galilée sur la chute des corps, réalisée du haut de la tour de Pise, gravure du XIXe s.
58 Einstein entouré de ses collègues du *Polytechnicum* de Zurich, photographie.
58/59 Vue de l'institut de physique Kaiser-Wilhelm à Berlin, photographie, 1912.
59 Portrait de Marcel Grossmann, photographie.
60/61 Table de travail d'Einstein à Zurich, photographie d'Erich Lessing.
62/63 Equations démontrant la théorie de la relativité générale, manuscrit autographe d'Einstein.
64 Représentation de l'espace «courbe» d'Einstein, dessin de Gamow, in *Monsieur Tompkins au pays des Merveilles,* 1940.
64/65 Schéma montrant la déformation de l'espace en fonction de la masse des objets présents, infographie.

CHAPITRE V

66 Einstein en 1930, photographie.
67 Carte d'un ouvrier français admirateur d'Einstein, 6 mars 1922. Archives Einstein, université hébraïque, Jérusalem.
68/69 Einstein à New York, photographie, vers 1920.
69h Couverture de l'*Illustrirte Zeitung,* 14 décembre 1919.
69b Télégramme de Lorentz informant Einstein de la confirmation expérimentale de sa théorie, 22 septembre 1919. Archives Einstein, université hébraïque, Jérusalem.
70h Eclipse solaire de mai 1919 photographiée à Sobral au Brésil, *La Science et la Vie,* 1919.
70b Eddington au congrès d'astronomie de Potsdam de septembre 1921, photographie.
71 Article illustré sur la théorie de la courbure des rayons lumineux confirmée au moment de l'éclipse solaire de 1919, *The Illustrated London News,* 22 novembre 1919.
72/73 Manifestation pacifiste à Berlin le 31 juillet 1921, photographie.
73 Discours d'Einstein à Berlin le 22 août 1930 à l'occasion de l'inauguration de l'exposition radiophonique, photographie.
74h Caricature d'Einstein, Sigmund Freud et Steinach, Vienne, 1931.
74b Marie Curie et Einstein à Genève lors d'une session de la Commission de coopération intellectuelle de la Société des Nations en 1922, photographie. Palais de la Découverte, Paris.
74/75 Une du *New York Times Magazine* du 22 novembre 1931.
75 Einstein et Langevin lors d'une manifestation antimilitariste à Berlin en 1923, photographie.
76 Le ghetto de Varsovie, photographie du début du siècle.
76/77 Discours d'Einstein à la conférence des étudiants juifs de 1924, photographie.
77 Discours de lord Balfour pour l'inauguration de l'université hébraïque de Jérusalem le 4 janvier 1925.
78/79 Emeutes dans les rues de Jaffa en 1936, photographie.
79 Portrait de Chaïm Weizmann, photographie.
80 Caricature d'Einstein in *Kladderadatsch,* n° 39, 1933.
80/81 Papier officiel du Reich retirant à

Einstein la nationalité allemande en mars 1934.
81 Nazis et étudiants allemands tenant des livres «non germaniques» lors de l'autodafé de Berlin du 10 mai 1933, photographie.
82hg Einstein avec sa femme à Caputh, près de Potsdam, photographie de Lotte Jacobi, 1928.
82hd Einstein à Huntington, Long Island, photographie de Lotte Jacobi, 1937.
82b Einstein à côté de son voilier à Gatow, Berlin, photographie de Lotte Jacobi, vers 1927.
83g Einstein et sa femme à Caputh, photographie de Lotte Jacobi, 1928.
83d Einstein sur son yacht en 1949, photographie.
84 Einstein jouant du violon, photographie, 1931.
85h Musique de chambre à bord du paquebot *Deutschland* à destination de l'Allemagne, photographie, mars 1931.
85b Einstein lors d'une répétition de musique de chambre, photographie.
86/87h Carte d'un admirateur d'Einstein, 2 août 1946. Archives Einstein, université hébraïque, Jérusalem.
86/87b Première explosion atomique près de Los Alamos dans le désert du Nouveau Mexique le 16 juillet 1945, photographie.

CHAPITRE VI

88 Einstein en 1947, photographie de Philippe Halsman.
89 Niels Bohr en 1925. photographie.
90 Einstein lors d'une conférence du 28 décembre 1934 au Carnegie Institute of Technology, photographie.
91 Affiche annonçant une conférence d'Einstein à l'université de Berlin le 23 février 1927.
92 Einstein à Berlin en 1931 en compagnie de Max Planck et de ministres du gouvernement, photographie.
92/93 Dessins de Gamow représentant Niels Bohr, Paul Ehrenfest, Pauli et Einstein pour une version humoristique du *Faust* de Goethe, 1932.
93h Congrès Solvay de 1927 à Bruxelles, photographie. Archives de l'Académie des sciences, Paris.
93b Couverture manuscrite d'une version humoristique du *Faust* de Goethe par Max Delbrück, 1932.
94b Paul Ehrenfest, photographie. A.I.P, Emilio Segrè Visual Archives, coll. Margrethe Bohr.
94/95h Discussion scientifique entre Niels Bohr et Einstein, photographie de Paul Ehrenfest. A.I.P, Emilio Segrè Visual Archives.
96 Tableau portant les derniers calculs d'Einstein, photographie. Palais de la Découverte, Paris.
97 Einstein à Princeton, photographie de Lotte Jacobi, 1938.

CHAPITRE VII

98 Einstein à la fin de sa vie, photographie.
99 Constellation de la Vierge, photographie.
100 Vue générale de la «tour Einstein» à Potsdam, photographie.
101h Einstein dans la tour qui porte son nom, photographie, 1921.
101b Croquis préparatoire de la «tour Einstein» par Erich Mendelsohn.
102 Einstein de dos, photographie de Ernst Haas.
102/103 Le «tigre quantique», dessin de Gamow in *Monsieur Tompkins au pays des Merveilles*, 1940.
104 Caricature illustrant les difficultés à comprendre la théorie d'Einstein par Wim Van Wieringen, 1950. Archives Einstein, Berne.
105h et b Expérience de Robert Pound et de Glen A. Rebka à Harvard visant à mesurer un effet prévu par la théorie d'Einstein, avril 1960.
107h Quasar, photographie.
107b Portrait du chercheur Roger Penrose dans les années 60, photographie.
108 Pulsar binaire, dessin d'artiste.
108/109 Einstein à l'observatoire du mont Wilson, photographie, vers 1931.
109 Rayon laser sortant d'un télescope de l'observatoire royal de Greenwich, photographie.
110 Trou noir, dessin d'artiste.
111 Dessin paru dans le *Washington Post*.
112 Discours d'Einstein devant les caméras de la N.B.C. contre l'utilisation de la bombe «H», photographie.

TÉMOIGNAGES ET DOCUMENTS

113 Caricature d'Einstein par Ippei Okamoto.
114 Einstein et Saint John au télescope solaire, photographie.
115 Télescope du mont Palomar, photographie.
117 Louis de Broglie à sa table de travail, photographie.
118 Einstein et Mileva Marić, photographie.
119 Marie Curie, photographie.
120 Lettre de Freud à Einstein en 1932.
121 Réunion de l'Institut international de coopération internationale en 1926, photographie.
122 Freud en 1931, photographie.
124 Einstein, savant juif ex-allemand, une de la revue belge *Pourquoi-Pas?*, 1933.
125 Caricature, in *Le*

Rouge et le Noir, 1933.
126/127b Titre du *Sunday Express*, 1931.
127 Caricature antisémite in *Deutsche Tagerzeitung*, 1933.
128/129 *L'Immigration*, fresque de Ben Shahn.
131 Bertolt Brecht en 1931, photographie.
132 Einstein posant pour le photographe, vers 1920.
133 Einstein tirant la langue, photographie, 1951.
135 Einstein inscrivant des équations au tableau, photographie.
142 Einstein à la campagne, photographie.
143 Einstein et Paul Painlevé en 1922, dessin.

INDEX

A

Académie des sciences de Prusse 59, 80, *80*.
Académie Olympia *26*.
Albert Einstein, Œuvres choisies (Maja Einstein) *14, 15, 18, 19, 21*.
Annalen der Physik 40.
«Appel aux Européens» 87.
Aspect, Alain *103*.

B

Beethoven 15, 27.
Bergson 49, 50.
Berlin 58, 59, 72, 80, *83*, 100, *100*;
Philharmonique de 79.
Berne 100; université de 58.
Bismarck 14, 15, 19.
Bohr, Niels 89, *89*, 90, 93, 94, *94*, 100, 101.
Boltzmann, Ludwig 30, *41*.
Brans 106.
Brecht, Bertolt *87*.
Broadway *43*.
Brod, Max *76*.
Bruxelles 92.
Bund neues Vaterland *73*.
Bureau des brevets de Berne 24, *24*, 25, *25*, 40, 41, *41*, 58, 100.

C

Californie 106.
Cambridge *33*, 68.
Caputh *83*.
Carnegie Hall *84*.
Colin, Paul *73*.
Collège de France *50, 75*.
Comité d'urgence des savants atomistes 87.
Commission de coopération intellectuelle de la Société des Nations 74, *74, 75*.
Conférence à la Sorbonne (1922) 49.
Copenhague, école de 101.
Critique de la Raison pure (Kant) *47*.
Curie, Marie *75*.

D

Dallas, congrès de (1963) *106*.
Déclaration Balfour 76, *77*.
Delbrück, Max *93*.
Dicke 106.
Durée et simultanéité (Bergson) 49.
Dynamique et fonction (Erich Mendelsohn) *101*.

E

Eddington, Arthur Stanley 68, 69, 69, 70, 70, 71, 71, 104.
Edison 20
Ehrenfest, Paul 93, *93*, 94, *94, 95*, 101; Tatiana 101.
Einstein, Hans Albert *27*; Hermann 18, *18, 19*, 20, *21*, 22, 26; Jakob 20, *21*; Maja 14, *14, 15*; Pauline *19*, 20.
Electromagnétisme 30, 32, 34, 41.
Emeutes arabes de Jérusalem (1929) 78.
Etat d'Israël *78*, 79, *79*.

F

Faust (Goethe) *93*.
Freud, Sigmund *74*.

G

Galilée 30, 31, 56, 57.
Gamow, George *49*, *93*, *103*.
Genève *75*.
Goethe 15, *93*.
Gravitation 55, *56*, 99.
Grossmann, Marcel *25*, 59, *59*, 101.
Gymnasium de Munich 14, *17*.

H

Habicht, Conrad *26*, 39.
Harvard, université de *105*.
Hawking, Stephen 99, 106, *107*.
Heidelberg *23*, 92.
Hiroshima 87.
Hitler 75, 80
Hulse *108, 109*.
Huygens *36*.

I

Illustrirte Zeitung 69.
Institut de physique Kaiser-Wilhelm *58*.
Institute for Advanced Study de Princeton 80.
Italie 14, 17, 20.

J

Jefferson Building *105*.
Jérusalem 77.
Jobche 90.
Jordan 92.
Journal de travail (Bertolt Brecht) *87*.
Journal de voyage (Albert Einstein) 67.

K

Kafka *76*.
Kant 15.
Koch, Julius *21*.

L

Langevin, Paul *50, 75*.
Leibniz *47*.
Lenard, Philipp 79, 80.
Londres 68.
Lorenz *69*.
Los Alamos 87.

M

Mac-carthysme 87.
Marić, Mileva 23, *23*, 24, 26, *27, 58*, 73.
Massachusetts Institute of Technology de Boston 104.
Maxwell, James Clerk 29, 32, 33, *33, 35*, 36, 45; théorie de *29*, 34, 42, 43; théorie de la lumière de 32.
Mécanique 30, 34, 35, 37, 41, 46.
Mécanique quantique *75*, 99, 100, 101, 103, 111; statistique 30, 42.
Mécanisme d'évaporation des trous noirs *107*.
Mendelsohn, Erich *101*.
Message aux étudiants de Chicago (Albert Einstein) *87*.
Metropol, café *25*.
Michelson *34*.

Milan 14, 22.
Monsieur Tompkins au pays des Merveilles (George Gamow) *49, 93, 103.*
Munich 14, *15, 21.*

N

Nagasaki 87.
Neuvième Symphonie (Beethoven) 27.
Newton 29, 30, *30,* 31, *31,* 33, *33,* 56, *56, 57,* 60, 68, *68,* 91; loi d'inertie de 57; mécanique de 29, 42; théorie de la gravitation *31*; trois lois de la dynamique 31, *31*
New York 67.
Novembergruppe *101.*

O

Ondes gravitationnelles 109, *109.*

P

Palestine 76, *77, 78.*
Palomar, mont 106.
«Paradoxe EPR» 102, *103.*
Paris *51.*
Pauli 92.
Pavie 22.
Penrose, Roger 106, *107.*
Physique quantique 103, 104.
Pise 56.
Planck, Max *40, 93.*
Podolsky 102.
Polytechnicum de Zurich 22, *22,* 23, *23,* 24, 58, *59.*
Pound *105,* 106.
Prague *75, 76,* 93; université de langue allemande de 58
Première Guerre mondiale *50,* 70, *71,* 72, *72,* 73, *77.*
Princeton 86, 100, 101, 102.
Principe, île 68, *71.*
Principes mathématiques de la philosophie naturelle (Newton) *30, 31.*
Prix Nobel (1922) *27, 51*; (1993) *108.*
Pulsars 107, 108, *108;* binaire 108, 109, *109.*

Q

Quanta de lumière 40, 41, 42, *43,* 44, 91.
Quasars 106, *106,* 107, 111, *111.*

R

Rathenau, Walther *67.*
Rebka *105,* 106.

Révolution française 19.
Roosevelt, président 87.
Rosen 102.
Rosenberg, Ethel et Julius 87.
Royal Astronomical Society 68.
Royal Society 68.
Russell, Bertrand *70,* 87.

S

Schiller 15.
Seconde Guerre mondiale 79.
Sibérie 70.
Solovine *26.*
Solvay, Ernest 92; congrès 91, 92, *93, 93, 94.*

T

Talmey, Max *47.*
Taylor *108, 109.*
Théorie corpusculaire *42*; de la lumière 37, 43, 46; de la matière 37, 43, 46; ondulatoire *42*; quantique 80, 91, *91,* 92, 94, 95, 99, 101, 102, 103, *103,* 106, 111.
Théorie de la relativité générale 44, 45, *45,* 46, 48, 51, *51,* 57, 60, *68,* 69, 73, *75,* 80, 94, 99, *99,* 100, 104, *104,* 106, *106,* 107, 108, 110, 111; de la relativité restreinte 40, *45,* 53.
Times 68.
«Tour Einstein» à Potsdam *100, 101.*
Traité de la lumière (Christian Huygens) *32.*
Trinity College *33.*
Trous noirs 107, *107,* 110, 111, *111.*

U

Ulm *19.*
Une brève histoire du temps (Stephen Hawking) 99.
Université hébraïque de Jérusalem 77.

V

Vienne *41*
Virgo, projet astrophysique 109.

W

Weber, Joseph 108.
Weimar, République de *67.*
Weizmann, Chaïm 79.
Wheatstone *33.*

Z

Zurich 22, 23, 24, 25, *44, 58.*

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

American Institute of Physics, New York 40d, 45, 94b, 94/95h, 113. Archiv für Kunst und Geschichte, Berlin 12, 24, 27, 40g, 54/55m, 58/59, 66, 68/69, 73, 75, 82hg, 82hd, 82b, 83g, 85h, 92, 97, 132, 133. Archiv Jäger, Mannheim 20. Archives Einstein, Bibliothèque nationale, Berne 14g, 22b, 23, 26b, 41g, 104. Archives Unesco 120. Archives d'urbanisme, Zurich 26h. Bavaria 119. Bettman Archives, New York 57, 81, 85b, 89. Bettman Archives/Underwood Collection 86/87b. Bettman Newsphotos/UPI 52, 70b, 77, 84, 105h, 105b. Bild Archiv Preussischer Kulturbesitz, Berlin 17, 28, 29, 41d, 76, 76/77, 80, 80/81, 90, 112, couv. 1er plat et dos. J.-L. Charmet, Paris 53, 93h. Ciel et Espace/Manchu 108, 110. Ciel et Espace/MPIA 107h. Ciel et Espace/ROE/AAO/D. Malin 8/9, 99. Ciel et Espace/NOAO couv 1er plat. Cosmos/Roger Ressnever/Starlight 115. Cosmos/S.P.L./Royal Greenwich 109. © Dorling Kindersley, Londres 32/33. D. R. 16, 21h, 21b, 25b, 31g, 31d, 32h, 34, 35d, 36h, 39, 48d, 50/51h, 56, 69h, 70h, 74/75, 91, 92/93, 101b, 111, 115, 124, 125, 126, 127. Edimédia, Paris 128/129. © Editions Dunod, Paris 48g, 49, 64, 102/103. E.T.H. Bibliothek, Zurich 18, 19, 25h, 38, 58, 59, 118. Explorer/J. Brun 43. Explorer/Mary Evans Picture Library 74h. Giraudon/Photothèque René-Magritte © ADAGP 1993 54/55h, 54/55b. Illustrated London News, Londres 71. Imapress, Paris/Camera Press/Karsh 98. Imapress, Paris/Camera Press/Peter Trievnar 107b. Keystone, Paris 46, 108/109, 135, 142. Magnum/Ernst Haas 1, 102. Magnum/Philippe Halsman 88. Magnum/Erich Lessing 2/7, 33, 44, 60/61, couv. 2e plat. Palais de la Découverte, Paris 35g, 36b, 42, 50/51b, 74b, 96. Photothèque EDF/SODEL/BDDP 37. © Princeton University Press, Boston University couv 1er plat, 1/9, 47, 62/63, 67, 69b, 86/87h. Roger-Viollet 15, 22h, 131. Roger-Viollet/Boyer 34/35, 83. Roger-Viollet/FA 11. Roger-Viollet/Harlingue 79, 117, 121. Sigmund Freud Copyrights, Londres 122. Coll. Sirot/Angel 16/17, 18/19. Ullstein 13, 72/73, 78/79, 100, 101h.

REMERCIEMENTS

Les citations des textes d'Einstein figurant dans cet ouvrage sont extraites des *Œuvres choisies* d'Einstein en français publiées en coédition par le Seuil et le CNRS que nous tenons à remercier.
Nous remercions également les «Einstein Papers» de Boston University qui nous ont autorisés à reproduire le manuscrit d'Einstein constituant le prégénérique du présent volume.
Les éditions Gallimard Jeunesse remercient : les éditions de l'Arche, Gallimard et du Seuil; ainsi qu'Alexandra Rose à New York.

COLLABORATEURS EXTÉRIEURS

Iconographie : Any-Claude Médioni. Maquette : Vincent Lever. Infographie : Paul Coulbois. Conseiller scientifique : Denis Guedj. Maquette Tém. et Doc. : Dominique Guillaumin.

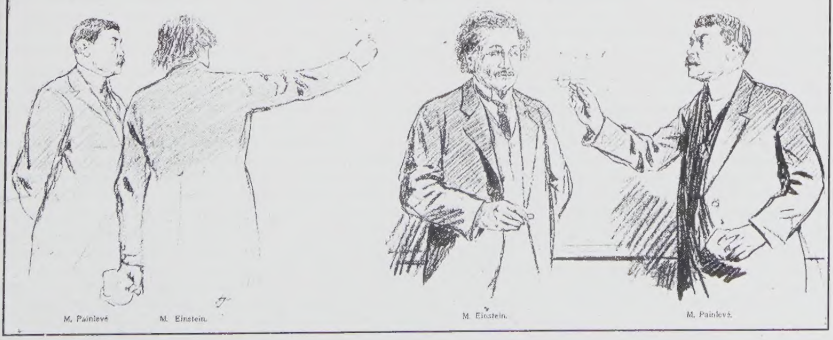


Table des matières

I LA PASSION DE COMPRENDRE

14 Dans l'Allemagne de Bismarck
17 Une discipline militaire
18 Espoirs paternels
20 La faillite familiale
22 L'école polytechnique de Zurich
24 Un chômeur diplômé
26 Le monde comme une «énigme vaste et éternelle»

II LA PHYSIQUE EN CRISE

32 L'éther, indispensable mais irréel
34 Concilier les contraires
36 La véritable nature de la lumière

III 1905, L'ANNÉE MIRACULEUSE

40 L'hypothèse des quanta
42 La dualité onde/particule
44 L'éther, une notion superflue
46 La relativité de la simultanéité
48 Dilatation des temps, contraction des longueurs
50 $E = Mc^2$

IV MATIÈRE, ESPACE, TEMPS

54 Le principe de relativité générale
56 Lorsque Einstein explique Galilée
58 Un partenaire mathématicien
60 L'espace-objet
62 Les mathématiques et la réalité
64 La matière déforme l'espace... et le crée

V DU BON USAGE DE LA GLOIRE

68 Comment on fabrique un mythe
70 L'internationale des savants
72 L'apôtre de la paix
74 Le métier d'intellectuel
76 Du foyer national juif à l'Etat d'Israël
80 1933 : Einstein quitte l'Europe pour toujours
82 *Violons d'Ingres*
86 Citoyen des Etats-Unis

VI LE VIEIL HOMME SEUL

90 Une théorie dérangeante
92 Conflit des générations
94 La chute du déterminisme
96 Un «hérétique» devenu «réactionnaire»

VII L'HÉRITAGE D'EINSTEIN

100 Le dernier des physiciens classiques
102 Le paradoxe EPR
104 La relativité générale au péril de l'observation
106 L'explosion relativiste
108 La recherche d'ondes gravitationnelles
110 L'histoire recommencée

TÉMOIGNAGES ET DOCUMENTS

114 Un univers en expansion
116 Einstein vu par Louis de Broglie
118 Trois destins de physiciennes
120 Einstein et Freud
124 «Je ne refuserais pas le service militaire»
126 Le sauvetage des Juifs allemands
130 L'homme et le monde
132 Mythologies
136 Annexes

1/ L'Egypte oubliée • 2/ Les baleines • 3/ La saga de l'espace • 4/ Picasso • 5/ Le Mont-Blanc • 6/ Longue Marche • 7/ Goya • 8/ La Vendée déchirée • 9/ Verdi • 10/ Galilée • 11/ Esclaves et négriers • Alexandre Dumas • 13/ Les Vikings • 14/ Les Peaux-Rouges • 15/ Le défi des pôles • 16/ Pompéi • Van Gogh • 18/ Malraux • 19/ Les fossiles • 20/ Les Mayas • 21/ Sur des mers inconnues • 22/ Mahon • 23/ Montaigne • 24/ L'écriture • 25/ Vers l'Ouest • 26/ Le ciel • 27/ Alexandre le Grand • 28/ Mont-Saint-Michel • 29/ Brésil, épopée métisse• 30/ Les galères • 31/ L'homme réparé • 32/ Le sang 33/ Les Aztèques • 34/ La fièvre de l'or • 35/ Le cinématographe •36/ Degas • 37/ Les Incas • 38/ L' de Pâques • 39/ Wagner • 40/ L'Amazone • 41/ Mozart • 42/ À vos plumes, citoyens ! • 43/ La Bounty 44/ Rodin • 45/ Pirates et flibustiers • 46/ David • 47/ Les architectes de la liberté • 48/ La révoluti des savants• 49/ Gauguin •50/ Gandhi • 51/ Berlioz • 52/ Comment la terre • 53/ Marco Polo • Villa, Zapata et le Mexique en feu • 55/ Cézanne • 56/ La Rome antique •57/ Les sorcières • 58/ siècle de Louis XIV • 59/ Le triomphe des arcs • 60/ Mémoires du Louvre • 61/ Versailles • 62/ La to Eiffel • 63/ Les Gallo-Romains • 64/ Angkor • 65/ Voltaire • 66/ Rousseau • 67/ Le langage des signe 68/ Carpeaux • 69/ Les dinosaures • 70/ Chopin • 71/ Bagnes et forçats • 72/ La presse • 73/ Velázqu • 74/ Des guerres de Religion à la Fronde • 75/ Les paquebots • 76/ Rembrandt • 77/ Les temples l'opéra • 78/ Dans la nuit des abysses • 79/ Freud • 80/ la Renaissance • 81/ Le Tour de France • 82/ L ports américains • 83/ Le football • 84/ La Grèce antique • 85/ La Nouvelle-Calédonie • 86/ Naissan de la Grèce • 87/ Le chef d'orchestre • 88/ La Bibliothèque nationale • 89/ Les Etrusques • 90/ Willia Penn et les quakers • 91/ Newton • 92/ La grenouille • 93/ Les éléphants • 94/ Le faucon • 95/ Le ré Cistercien • 96/ Champollion • 97/ De l'Indochine au Viêt-Nam • 98/ Le Néolithique • 99/ Le Japon 100/ L'Encyclopédie • 101/ De Gaulle • 102/ Rimbaud • 103/ La Gaule retrouvée • 104/ Byzance • 10 Le chat • 106/ Beethoven • 107/ L'escrime • 108/ Seurat • 109/Les surréalistes • 110/ Les missio Jésuites • 111/ Le sel •112/ Le tennis •113/ Les volcans • 114/ L'épopée du jazz /1 • 115/ L'épopée Jazz /2 • 116/ Bach • 117/ Les sources du Nil • 118/ Les momies • 119/ Jules Verne • 120/ Christop Colomb • 121/ Le fer • 122/ L'électricité • 123/ La poste • 124/ Les loups • 125/ Les abeilles • 12 Shakespeare • 127/ Les sports d'hiver • 128/ Rollermania • 129/ Les Croisades • 130/ Les Scythes • 13 Monet • 132/ Toulouse-Lautrec • 133/ Les jeux olympiques • 134/ Le cirque • 135/ Le carnaval • 13 Guimard • 137/ Stendhal • 138/ La perspective • 139/ Le crime à l'écran • 140/ Hollywood • 14 L'histoire au cinéma • 142/ Barcelone • 143/ L'Afrique du Sud • 144/ La tauromachie • 145/ Les A Écho • 146/ Marianne • 147/ L'école •148/ Sissi •149/ Rossini • 150/ Balzac • 151/ l'univers • 152/ Irène • 153/ Le Douanier Rousseau • 154/ Géricault • 155/ Lawrence d'Arabie • 156/ Vivre so L'Occupation • 157/ La guerre de Sécession • 158/ Les Celtes • 159/ Darius • 160/ Le rock • 161/ L Vampires • 162/ Le billard • 163/ La loi du ring • 164/ Le rugby • 165/ Matisse • 166/ La bourse • 16 Le suffrage universel • 168/ La police • 169/ Titien • 170/ Jésus • 171/ La mort • 172/ Carthage 173/Pont-Aven • 174/ Compostelle • 175/ Cnossos • 176/ Bergman • 177/ Renoir • 178/ Vuillard • 17 Le Corbusier • 180/ Les cathédrales • 181/ Rabelais • 182/ L'homme et la Forêt • 183/ Cléopâtre • 18 La mine de charbon • 185/ Le corps • 186/ Miró • 187/ L'invention des musées •188/ Les divas • 18 Les premiers chrétiens • 190/Le Vaudou • 191/ La Mésopotamie • 192/ Le téléphone • 193/ Einstein 194/ Bouddha • 195/ Le palais de la Découverte • 196/ Soliman • 197/ Charles-Quint • 198/ Jeanne Lucelle • 199/ Humboldt • 200/ Les utopies• 201/ Les Palestiniens • 202/ Le débarquement • 20 Manet • 204/ New York • 205/ Saint-Pétersbourg • 206/ Femmes et religions • 207/ Les jardins • 20 Le tunnel sous la Manche • 209/ Jean Renoir • 210/ Les acteurs français 1929 1959 • 211/ La fran Maçonnerie • 212/ Les émigrants • 213/ L'affaire Dreyfus • 214/ La Libération de Paris • 215/ L'homm Devant l'homme • 216/ Tombouctou • 217/ Périclès • 218/ Les Tsiganes • 219/ L'Assemblée nationale 220/ Jaurès • 221/ L'École normale supérieure • 222/ Le Conservatoire des Arts et Métiers • 223/ A Temps de l'impressionnisme • 224/ La Gaumont • 225/ Schubert • 226 / Le défi humanitaire • 227/ La météo • 228/ A table • 229/ La peste • 230/ Babylone • 231/ Derain • 232/ Le cheval • 233/ Poussin 234/ La radio • 235/ Louis Pasteur • 236/ La Shoah • 237/ Les Réformes • 238/ Le Palais de justice 239/ La mode • 240/ La Fontaine • 241/ Chagall • 242/ L'architecture de la Renaissance • 243/ Brancu 244/ La Seconde Guerre mondiale • 245/ Charles Chaplin • 246/ Les ateliers du 7e Art /1 • 247/ L Ateliers du 7e Art /2 • 248/ La bombe atomique • 249/ Le Museum d'histoire naturelle • 250 Schliemann • 251/ L'O. N. U. •252/ Purcell• 253/ Madame de Sévigné • 254/ Caravage • 255/ L Compagnons • 256/ Les châteaux-forts • 257/ Zola • 258/ Le Western • 259/ La civilisation romaine 260/ Les Templiers • 261/ L'Institut de France • 262/ Le Conservatoire de musique • 263/ L Commune • 264/ Les routes du ciel • 265/ La famine en Irlande • 266/ L'archéologie sous marine • 26 La course automobile • 268/ Les Mérovingiens • 269/ L'histoire des papes • 270/ La 2 CV • 27 Courbet • 272/ Che Guevara • 273/ La bande dessinée • 274/ Le rap • 275/ Le Front populaire • 27 Ilia • 277/ Corot • 278/ Beaumarchais • 279/ Cendrars • 280/ Internet •281/ La médecine d'urgence 282/ Le CEA • 283/ Le Printemps de Bourges • 284/ L'héraldique • 285/ L'aventure mystique • 286/ E Flute ! • 287/ Bacon • 288/ L'invention du tourisme • 289/ Calder • 290/ Le festival d'Avignon • 29 Le patrimoine • 292/ Truffaut • 293/ Léonard de Vinci • 294/ Descartes • 295/ Le Paléolithique • 29 DOM • 297/ La danse • 298/ Les légendes arthuriennes • 299/ Art et Science • 300/ Les nombres

En 1905, la très savante revue
Annalen der Physik publie trois articles
sur un sujet totalement novateur :
la relativité restreinte. En post-scriptum,
une équation sybilline : $E = Mc^2$.
L'auteur est un jeune homme de vingt-six ans,
obscur employé du Bureau des brevets à Berne :
Albert Einstein. Quinze ans plus tard,
l'expérience entérine la théorie.
L'astronomie vient confirmer la relativité,
inaugurant l'un des plus grands
mythes du XXe siècle.
Françoise Balibar ret
d'un être d'exception, do la
sous le signe d'une s
«Die Freude am D
la joie de la pen

949-BAB-734

P7-DIP-102

A 53220
ISBN : 2-07-053220-8
9 782070 532209

catégorie 4